

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»
 Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки

УДК 622.691.4.053-049.32

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Ерохин А.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Антропова Н.А.	к.г.-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Романюк В.Б.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Черемискина М.С.	-		

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Поздеева Г.П.	к.ф.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

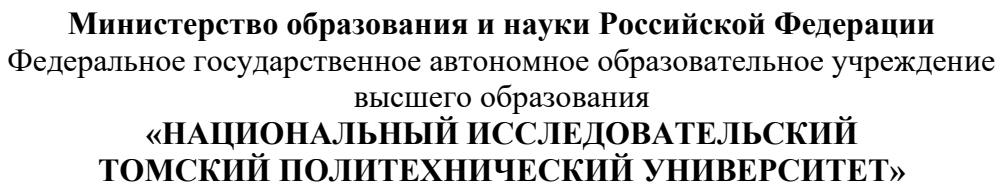
Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Шадрина А.В.	д.т.н., доцент		

Результаты обучения
по Основной образовательной программе подготовки магистров
по направлению **21.04.01 «Нефтегазовое дело»**
профиль подготовки **«Надежность газонефтепроводов и хранилищ»**

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями		
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	УК-1; УК-2; УК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы—в области интеллектуальной собственности</i>	УК-1; УК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
в области производственно-технологической деятельности		
P3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.	УК-1; УК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда,	УК-2; УПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
	выполнять требования по защите окружающей среды.	
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов	УК-2; УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20
<i>в области проектной деятельности</i>		
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность	УК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23; (АБЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы	УК-1; УК-2; УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АБЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	УК-1; УК-2; УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АБЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»		
P9	Организация технологического сопровождения планирования и оптимизации потоков углеводородного сырья и режимов работы технологических объектов	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.008 Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли
P10	Организация ТОиР, ДО нефте- и газотранспортного оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
		<i>11), требования профессионального стандарта 19.013 " Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"</i>
P11	Организация работ по техническому обслуживанию, ремонту, диагностическому обследованию оборудования, установок и систем НППС.	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9, ПК-14), требования профессионального стандарта 19.053" Специалист по эксплуатации нефтепродуктоперекачивающей станции магистрального трубопровода нефти и нефтепродуктов ".</i>



Отделение нефтегазового дела

(Подпись)

(Дата)

Шадрина А.В.
(Ф.И.О.)

Объектом исследования данной работы являются модели участков магистрального газопровода диаметром 1420 мм с толщиной стенки 25 мм со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans и автоматической лазерной сваркой волоконным лазером.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Произвести литературный обзор по теме применения лазерной сварки при строительстве и ремонте магистральных газопроводов для снижения эксплуатационных рисков. Выполнить анализ методов сварки магистральных газопроводов. Построить модели магистральных газопроводов со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans и автоматической лазерной сваркой волоконным лазером. Провести анализ полученных результатов.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Романюк Вера Борисовна, доцент ОНД</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна, ассистент ООД</p>
<p>«Иностранный язык»</p>	<p>Поздеева Галина Петровна, доцент ОИЯ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> <p>Автоматическая сварка магистральных газопроводов</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>06.12.2019г</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Антропова Наталья Алексеевна	к.г.-м.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Ерохин Александр Андреевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
Уровень образования магистратура
Отделение нефтегазового дела
Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.03.2018	<i>Введение</i>	5
25.03.2018	<i>Обзор литературы</i>	10
05.04.2018	<i>Объект и методы исследования</i>	15
13.04.2018	<i>Автоматическая сварка магистральных газопроводов</i>	10
20.04.2018	<i>Технологическое проектирование автоматической сварки магистральных газопроводов</i>	10
04.05.2018	<i>Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода</i>	15
10.05.2018	<i>Социальная ответственность</i>	10
14.05.2018	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
17.05.2018	<i>Заключение</i>	5
17.05.2018	<i>Презентация</i>	10
	<i>Итого</i>	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Антропова Н.А.	к.г.-м.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Шадрина А.В.	д.т.н., доцент		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ81	Ерохину Александру Андреевичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	В данном разделе ВКР необходимо представить: график выполнения работ, в соответствии с ВКР; трудоёмкость выполнения операций; нормативно-правовую базу, используемую для расчётов; результаты расчётов затрат на выполняемые работы; оценить эффективность нововведений и др. Раздел ВКР должен включать: методику расчёта показателей; исходные данные для расчёта и их источники; результаты расчётов и их анализ.
Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно справочников Единых норм времени (ЕНВ) и др.
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 20%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Расчет капитальных и текущих затрат и финансового результата реализации проекта
Планирование и формирование бюджета научных исследований	График выполнения работ
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет экономической эффективности внедрения новой техники или технологии

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Организационная структура управления
Графики сравнения показателей

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк В.Б.	к.э.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Ерохин Александр Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ81	Ерохину Александру Андреевичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело Надежность газонефтепроводов и хранилищ

Тема ВКР:

Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является лазерная сварка при строительстве и ремонте магистральных газопроводов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	1. Трудовой кодекс Российской Федерации. 2. Закон РФ от 19.02.1993 N 4520-1 О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях. 3. Федеральный закон РФ от 21.12.1994 N 68-ФЗ О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. 4. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные: 1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; 2. Пониженная температура воздуха рабочей зоны; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 4. Повышенная яркость света, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение. Опасные: 1. Подвижные части производственного оборудования;

	2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
3. Экологическая безопасность:	<p>Воздействие объекта на атмосферу – загрязнение атмосферного воздуха сварочным аэрозолем.</p> <p>Воздействие объекта на гидросферу – загрязнение сточных вод частицами пыли, металлическими и абразивными частицами.</p> <p>Воздействие объекта на литосферу – загрязнение отходами, образующимися при сварочных работах: сварочный шлак, остатки и огарки сварочных электродов, флюсы, остатки стальной проволоки, продукты разложения карбида кальция.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможно возникновение пожара на рабочем месте, взрыва технологического оборудования, а также различных стихийных бедствий. Наиболее вероятным видом ЧС при сварочных работах являются пожар на рабочем месте.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.04.2020
-------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		13.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Ерохин Александр Андреевич		13.04.2020

Реферат

Магистерская диссертация содержит 94 страницы текстового материала, 30 рисунков, 21 таблица, 46 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: магистральный газопровод, моделирование, лазерная сварка, сварка в среде защитных газов, напряженно-деформированное состояние.

Актуальность работы. Высокие требования к свойствам сварных соединений магистральных газопроводов, а также увеличение темпов их строительства и ремонта приводят к необходимости разработки новых технологий сварки и сварочного оборудования.

Объектом исследования данной работы являются модели участков магистрального газопровода со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans и автоматической лазерной сваркой волоконным лазером.

Цель работы. Оценить возможность применения лазерной сварки в качестве альтернативы дуговой сварке при проведении строительных и ремонтно-восстановительных работ для снижения эксплуатационных рисков, возникающих на магистральных газопроводах.

Результаты исследования. Выявлена эффективность предложенного варианта создания неразъемных сварных соединений для магистральных газопроводов.

Методы проведения исследования. Технологические расчеты, а также численные методы, реализованные в программном комплексе ANSYS.

Область применения. Строительство и ремонт магистральных газопроводов.

					<i>Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ерохин А.А.			Реферат	Лит.	Лист
Руковод.		Антропова Н.А.					11
Консульт.							94
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.				НИ ТПУ гр. 25М81	

Определения

В работе используются следующие термины с соответствующими определениями:

Остаточные напряжения – упругая деформация и соответствующее ей напряжение в твердом теле при отсутствии действия на него механического воздействия извне.

Дуговая сварка в защитном газе – сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой, когда дуга и расплавленный металл, а в некоторых случаях и остывающий шов находятся в защитном газе, подаваемом в зону сварки с помощью специальных устройств.

Лазерная сварка – сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется лазерным лучом.

Сварное соединение – неразъемное соединение, выполненное сваркой и представляющее собой совокупность характерных зон в трубе.

Металл шва – сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом.

Зона термического влияния – участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке.

Свариваемость металла – свойства металла образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Термическая обработка труб – тепловая обработка труб для улучшения пластических и вязкостных свойств основного металла и сварных соединений труб.

					<i>Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки</i>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					
<i>Разраб.</i>		<i>Ерохин А.А.</i>			Определения, нормативные ссылки	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	
<i>Рцковод.</i>		<i>Антропова Н.А.</i>					<i>12</i>	<i>94</i>	
<i>Консульт.</i>						<i>НИ ТПУ гр. 25М81</i>			
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>							

Нормативные ссылки

В работе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Работы электросварочные. Требования безопасности.

ГОСТ 12.4.051-87 (СТ СЭВ 5803-86) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия.

СТО Газпром 2-2.2-136–2007. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов. Часть I.

«Технических требований к сварке и неразрушающему контролю качества сварных соединений при строительстве магистрального газопровода «Сила Сибири», в том числе при пересечении зон активных тектонических разломов».

ТУ 1381-012-05757848-2005 Трубы стальные электросварные прямошовные наружным диаметром 508-1420 мм для магистральных трубопроводов на рабочее давление до 9,8 Мпа

					Определения, нормативные ссылки	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Оглавление

Введение.....	16
1 Литературный обзор.....	19
2 Объект и методы исследования.....	20
3 Автоматическая сварка магистральных газопроводов.....	21
3.1 Автоматическая двухсторонняя сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах сварочным комплексом CRC-Evans.....	21
3.1.1 Оборудование сварочного комплекса CRC-Evans AW.....	22
3.1.2 Сварочная головка P700.....	22
3.2 Автоматическая лазерная сварка волоконным лазером.....	23
3.2.1 Классификация приемов и способов лазерной сварки волоконными лазерами.....	24
3.2.2 Технология лазерной сварки магистрального газопровода.....	32
3.2.3 Оборудование для лазерной сварки магистрального газопровода..	34
4 Технологическое проектирование автоматической сварки магистральных газопроводов.....	36
4.1 Выбор марки стали свариваемого участка магистрального газопровода.....	36
4.2 Сварочные материалы.....	37
4.3 Режимы сварки магистрального газопровода.....	37
5. Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода.....	41
5.1 Создание сетки конечных элементов.....	41
5.2 Расчет участка магистрального газопровода на прочность.....	43
5.2.1 Расчет на растяжение.....	43
5.2.2 Расчет на сжатие.....	47

					Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ерохин А.А.			Оглавление		
Руковод.		Антропова Н.А.					
Консульт.							
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.					
						Лит.	Лист
							14
							94
						НИ ТПУ гр. 2БМ81	

5.2.3 Расчет на изгиб.....	50
5.3 Анализ результатов моделирования.....	54
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	55
6.1 Расчет нормативной продолжительности выполнения работ.....	55
6.2 Расчет сметной стоимости работ.....	56
6.2.1 Расчет затрат на материалы.....	56
6.2.2 Расчет затрат на амортизационные отчисления.....	57
6.2.3 Расчет затрат на оплату труда.....	57
6.2.4 Расчет затрат на страховые взносы.....	58
6.2.5 Расчет затрат на проведение мероприятия.....	60
6.3 Обоснование экономической эффективности проекта.....	60
7 Социальная ответственность.....	62
Введение.....	62
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	62
7.2 Производственная безопасность.....	64
7.2.1 Анализ выявленных опасных и вредных факторов и мероприятия по их устранению.....	65
7.3 Экологическая безопасность.....	70
7.3.1 Защита селитебной зоны.....	70
7.3.2 Защита атмосферы.....	70
7.3.3 Защита гидросферы.....	71
7.3.4 Защита литосферы.....	71
7.4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	71
Заключение.....	73
Список литературы.....	75
Приложение А.....	80

Введение

Ежегодно в ходе эксплуатации магистральных газопроводов на территории России происходит более 100 аварии, приносящих материальные убытки и вред окружающей среде. За последнее десятилетие более 40 процентов зарегистрированных разрушений были обусловлены коррозионным растрескиванием металла под напряжением. Основная часть разрушений магистральных газопроводов произошла в зоне сварного соединения. Исходя из этого, можно сделать вывод, что в настоящее время основным эксплуатационным риском является разрушение газопровода вследствие коррозионного растрескивания под напряжением [1].

Высокая концентрация разрушений металла труб в зоне сварного соединения обусловлена наличием остаточных сварочных напряжений, которые, кроме того, могут накладываться на рабочие напряжения газопровода, ускоряя зарождение трещин [2, 3, 4].

На образование остаточных напряжений влияют факторы, оказывающие воздействие на протекание фазовых и структурных превращений при кристаллизации стали. В частности, изменение объема металла при расплаве и кристаллизации вызывает собственные или внутренние деформации и напряжения при сварке. Они существуют в зоне сварного соединения без приложения внешних нагрузок [5]. Если собственные напряжения будут выше предела текучести металла, то образуются остаточные напряжения [6].

Величина остаточных сварочных напряжений напрямую зависит от размеров зоны термического влияния. Это позволяет сделать вывод о том, что, правильный выбор технологии сварки магистрального газопровода при строительстве и ремонте позволяет уменьшить зону термического влияния,

					Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Ерохин А.А.			Введение	Лит.	Лист	Листов
Рцковод.		Антропова Н.А.					16	94
Консульт.						НИ ТПУ гр. 25М81		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

остаточные напряжения и в конечном итоге эксплуатационные риски.

Актуальность. Высокие требования к свойствам сварных соединений магистральных газопроводов, а также увеличение темпов их строительства и ремонта приводят к необходимости разработки новых технологий сварки и сварочного оборудования.

В работе рассмотрен способ лазерной сварки в узкощелевую разделку кромок в качестве альтернативы дуговой сварки при строительстве и ремонте магистральных газопроводов.

Цель работы. Оценить возможность применения лазерной сварки в качестве альтернативы дуговой сварке при проведении строительных и ремонтно-восстановительных работ для снижения эксплуатационных рисков возникающих на магистральных газопроводах.

Задачи работы:

- Изучение технических возможностей лазерной сварки.
- Моделирование напряженно-деформированного состояния магистрального газопровода со сварным швом, выполненным автоматической дуговой сваркой и лазерной сваркой.
- Расчет и сравнение объемов наплавленного материала и скорости изготовления сварного стыка магистрального газопровода.
- Анализ напряженно-деформированного состояния, полученного в результате моделирования.

Объект исследования. Объектом исследования данной работы являются модели участков магистрального газопровода со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans и автоматической лазерной сваркой волоконным лазером.

Предмет исследования. Напряженно-деформированное состояние участков магистрального газопровода со сварными швами, выполненными двумя способами.

Научная или практическая новизна. Напряженно-деформированное состояние участков магистрального трубопровода с различной разделкой

					Введение	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

кромки сварных соединений определялось методом конечных элементов программном комплексе «Ansys».

Практическая значимость результатов исследования. По результатам исследования было выявлено, что использование лазерной сварки позволяет снизить напряжения в сварных соединениях и увеличить производительность труда, а также снизить расход сварочной проволоки.

1 Литературный обзор

В работе Пашкова Ю.И. [1] отражены результаты исследований остаточных сварочных напряжений в трубах, используемых для магистральных газопроводов, и пути их снижения.

Авторы [9, 11] работ приводят в них основные приемы сварки лазерным лучем. Доказывают влияние данной технологии на снижение остаточных напряжений в металле после сварки.

В статьях [25, 26, 30] представлены преимущества лазерной сварки для магистральных газопроводов перед традиционными способами, а также показаны результаты разработок технологии и оборудования для сварки неповоротных стыков труб.

В нормативной документации СТО Газпром 2-2.2-136-2007 [28], а также «Технических требований к сварке и неразрушающему контролю качества сварных соединений при строительстве магистрального газопровода «Сила Сибири», в том числе при пересечении зон активных тектонических разломов» [29] показаны существующие технологии и их параметры в области автоматической сварки магистральных газопроводов.

					<i>Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		Ерохин А.А.			<i>Литературный обзор</i>		
<i>Руковод.</i>		Антропова Н.А.					
<i>Консульт.</i>							
<i>Рук-ль ООП</i>		Шадрина А.В.					
						<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>
							19
							94
						<i>НИ ТПУ гр. 2БМ81</i>	

2 Объект и методы исследования

Объектом исследования данной работы являются модели участков магистрального газопровода со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans и автоматической лазерной сваркой волоконным лазером.

В работе необходимо обосновать возможность применения лазерной сварки в качестве альтернативы дуговой сварке при проведении строительных и ремонтно-восстановительных работ для снижения эксплуатационных рисков возникающих на магистральных газопроводах.

Моделируемые участки выполнены из стальной трубы диаметром 1420 мм с толщиной стенки 25 мм.

Для моделирования использован программный комплекс Ansys 18.2. Моделирование выполнено в среде «static structural» решаемой методом конечных элементов.

					Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Ерохин А.А.			Объект и методы исследования	Лит.	Лист	Листов
Рцковод.		Антропова Н.А.					20	94
Консульт.						НИ ТПУ гр. 25М81		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

3 Автоматическая сварка магистральных газопроводов

Автоматическая сварка – способ сварки, при котором основные технологические процессы выполняются автоматически. Это управление источником нагрева для плавления, подача плавящегося электрода (сварочной проволоки), а также перемещение самого сварочного автомата вдоль свариваемых кромок. Все эти процессы осуществляются механизмами (автоматическими сварочными головками), в том числе по заданной компьютерной программе. Сварщик-оператор контролирует процесс визуально и может корректировать технологические параметры по скорости подачи сварочной проволоки и перемещениям автоматической головки по свариваемому соединению труб.

3.1 Автоматическая двухсторонняя сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах сварочным комплексом CRC-Evans

На сегодняшний день одной из самых производительных систем автоматической сварки неповоротных стыков труб магистральных газопроводов является система CRC-Evans AW. В этой технологии реализуется процесс двухсторонней сварки труб диаметром 630 – 1420 мм электродной проволокой сплошного сечения в среде защитных газов.

CRC-Evans использует специально разработанную узкую разделку кромок свариваемых труб, для заполнения которой требуется меньше наплавленного металла. Кроме того, ее геометрия устраняет необходимость зазора при сборке в отличие от стандартной разделки кромок. Сварка корня шва ведется с внутренней стороны многоголовочным сварочным автоматом.

					Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								
Разраб.		Ерохин А.А.			Автоматическая сварка магистральных газопроводов			Лит.	Лист	Листов		
Рцковод.		Антропова Н.А.								21	94	
Консульт.								НИ ТПУ гр. 2БМ81				
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.										

Горячий проход выполняется наружными сварочными головками практически одновременно со сваркой корня шва. Совокупность этих факторов повышает скорость и качество сварки [7].

3.1.1 Оборудование сварочного комплекса CRC-Evans AW

Комплекс CRC-Evans AW состоит из следующего оборудования [8]:

- кромкообрабатывающий станок;
- установка для сварки изнутри трубы, в которой совмещены функции самоходного внутреннего центриатора, пропановой горелки для подогрева стыка и многоголовочного сварочного автомата;
- сварочные головки для наружной сварки;
- установка энергообеспечения сварочных постов;
- защитное укрытие;
- вспомогательное оборудование.

3.1.2 Сварочная головка P700

Сварочная головка P700 является самой эффективной разработкой компании CRC-Evans. Она использует две сварочные дуги вместо одной, что позволяет значительно увеличить скорость сварки. Также, в отличие от головок предыдущих поколений, позволяет выполнять сварку всех слоев шва: горячего прохода, заполняющих и облицовочного слоев. Раньше требовалась отдельная головка для выполнения горячего прохода.

Автоматические сварочные горелки P700 имеют встроенную систему водяного охлаждения, а в качестве источников сварочного тока используются два импульсных инвертора. Сварочные горелки могут управляться и каждая по отдельности, и обе одновременно; любая горелка могут выступать и в качестве ведущей, и в качестве ведомой с целью оптимизации управления и повышения качества сварки.

					Автоматическая сварка магистральных газопроводов	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Преимущества в производительности головок с двумя горелками заключаются в том, что они обеспечивают степень наплавки примерно на 60 – 70% выше, чем головки с одной дугой. Первая горелка выполняет шов обычной для заполняющего прохода толщины, а второй проход заполняет шов на 60 – 70% от обычной толщины, сокращая таким образом общее количество проходов [7, 8].

На сегодняшний день автоматическая дуговая сварка находится на пике своей производительности. В сварочной головке Р700 реализован один последних ресурсов повышения скорости сварки – увеличенный вылет электрода. Сварка производится электродной проволокой диаметром 1,2 мм при вылете электрода до 25 мм. Для этого данный автомат имеет систему отслеживания оси шва, которая координирует полученные данные с мгновенными значениями параметров сварочного тока [7, 8].

3.2 Автоматическая лазерная сварка волоконным лазером

Принцип действия лазерной сварки сводится к тому, что лазерное излучение направляют в фокус, где из него создается пучок, который и попадает на свариваемые детали. Пучок попадает внутрь металла, поглощается им, нагревает металл, вследствие чего происходит плавка и возникает сварочный шов.

С появлением волоконных лазеров технология лазерной сварки получила второе дыхание. Те области, где ее применение было затруднено и казалось невозможным, стали доступны. В таблице 3.1 представлено сравнение основных типов лазеров, применяемых для сварки [9, 10].

					Автоматическая сварка магистральных газопроводов	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 3.1 – Лазеры, применяемые для сварки

	Волоконный лазер	Nd:YAG лазер	CO ₂ -лазер	Дисковый лазер
КПД, %	30	5	10	15
Выходная мощность, кВт	до 50	до 6	до 20	до 4
Гарантийный срок службы, час	100000	10000	10000	10000

3.2.1 Классификация приемов и способов лазерной сварки волоконными лазерами

За последние 10 лет технология лазерной сварки значительно развилась и дополнилась технологическими приемами и способами. Так, возможна следующая классификация [11]:

- 1) по форме (геометрии) получаемого сварного шва;
- 2) по количеству проходов;
- 3) по виду фокусного пятна;
- 4) по виду присадочного материала;
- 5) по наличию дополнительных источников нагрева;
- 6) по виду сварных швов;
- 7) по типу оптических сварочных головок;
- 8) по типу защиты сварного шва.

1) Классификация по форме проплавления

По форме можно различить три вида сварных лазерных швов: с глубоким проплавлением, средним и широким [12]. Коэффициент проплавления K , отношение глубины сварного шва b к ширине a , у сварных швов с глубоким проплавлением равен более 2, у средних находится в диапазоне от 1 до 2, а у широких равен или менее 1 (рисунок 3.1).

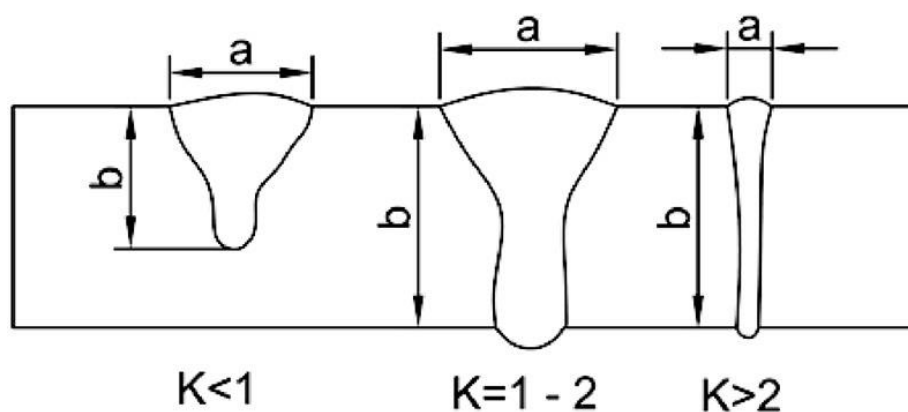


Рисунок 3.1. – Виды сварных соединений, выполненных методом лазерной сварки

Получение шва с глубоким проплавлением возможно благодаря феномену парогазового канала, который возникает в жидкой ванне расплаве. Такие сварные швы выполняются, как правило, на скоростях от 1 м/мин, фокус находится ближе к поверхности свариваемых деталей или немного заглублен [12].

В результате получения максимальной плотности мощности на поверхности изделия сварной шов приобретает глубокое «кинжальное» проплавление.

Технология лазерной сварки с формированием глубокого «кинжального» проплавления может быть использована при обеспечении беззазорной сборки между свариваемыми кромками. Такие жесткие требования могут быть выполнены только при наличии ровных кромок и точной геометрии заготовок. Наличие даже минимального зазора между свариваемыми кромками (0,1 – 0,2 мм) будет вносить в геометрию сварного шва дефекты [13].

Для уменьшения требований к сборке свариваемых кромок разработаны технологические режимы, для которых типично получение более широких сварных швов. Одним из самых простых способов является сварка в расфокусе. При этом требуемая глубина проплавления регулируется скоростью сварки и мощностью лазерного излучения. Феномен парогазового канала при таком режиме остается, но ширина шва увеличивается. Такие

сварные соединения снижают требования к величине зазора между кромками и составляют в среднем до 10 % от толщины свариваемого материала. Увеличение диаметра пятна на поверхности и объема жидкой ванны расплава позволяет вести сварку с подачей присадочной проволоки, требования к величине зазора снижаются до 15 – 20 % от толщины материала [11].

Другим способом увеличения ширины является применение различных специализированных фокусных пятен. Для получения максимально широкого сварного шва еще больше снижают скорость сварки, увеличивают диаметр пятна на поверхности за счет расфокусировки с одновременным увеличением мощности лазерного излучения. У таких швов глубина проплава может быть меньше, чем ширина шва. Такие сварные соединения могут быть использованы для получения несквозных, облицовочных сварных швов, а также для компенсации неточностей сборки деталей перед сваркой или влияния поводов, возникающих в ходе самой сварки [12].

2) Классификация по количеству проходов

Лазерная сварка обычно выполняется за один проход, без разделки кромок, с высокими скоростями ведения процесса и это, бесспорно, считается ее преимуществом. Такая технология применяется для сварки, например сталей, толщин до 10 мм без возникновения каких-либо технологических проблем. Увеличение толщины свариваемых изделий (свыше 12 мм) приводит к повышению вероятности появления дефектов в сварном шве, таких как провалы, подрезы, поры, полости, трещины [13].

Причины появления дефектов следующие: при увеличении толщины свариваемых изделий прямопропорционально увеличивается мощность лазерного излучения, для обеспечения сквозного проплавления, снижается и скорость сварки, в результате чего объем жидкой ванны расплава становится больше и процессы происходящие в ней становятся менее управляемыми.

Так, при достижении определенного объема жидкого металла силы поверхностного натяжения уже не могут удерживать ванну расплава и жидкий металл вытекает каплями снизу, образуя недостаток материала сварного шва

					Автоматическая сварка магистральных газопроводов	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сверху [11]. Следует также отметить, что однопроводная сварка больших толщин ведет к образованию срединных трещин (полостей) независимо от склонности материала к растрескиванию вследствие термической усадки материала и высоких скоростей охлаждения.

Для таких случаев технологами разрабатываются специальные методы лазерной сварки с применением дополнительных технологических приемов и способов: в горизонтальном положении, на медной подкладке, с поддувом парогазового канала, с предварительным введением компенсационных напряжений в конструкцию. Другим таким методом является сварка за два прохода с двух сторон. При первом проходе формируется основной шов качественным формированием корня шва, при втором проходе формируется верх шва. Скорость сварки при этом сохраняется высокой, поэтому выполнение второго прохода существенно не снижает производительности.

При увеличении толщины свариваемых изделий свыше 20 мм может применяться технология многопроходной лазерной сварки в узкую разделку [14]. Такая технология сварки последние годы активно исследуется и начинает применяться в различных отраслях промышленности. Преимущества технологии по отношению к дуговой сварке больших толщин в широкую разделку следующие: увеличение производительности в 5–8 раз, снижение объема фрезеровки в 10 раз, снижение остаточных напряжений и деформация в 3 раза [15], снижение зоны термического влияния, экономия присадочного материала и электроэнергии. Преимущества по отношению к однопроводной лазерной сварке следующие: не требуется большая мощность лазерного излучения, снижается вероятность появления дефектов, особенно в виде трещин, повышение стабильности процесса.

3) Классификация по виду фокусного пятна

Технология лазерной сварки обычно осуществляется с применением одного лазерного излучения, которое фокусируется в нужный диаметр пятна при помощи выпуклой линзы, установленной в оптической сварочной головке. В случае применения волоконных лазеров применяется коллимирующая

					Автоматическая сварка магистральных газопроводов	Лист 27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

линза, для того чтобы расходящееся лазерное излучение собрать в параллельный пучок. Такая схема используется в большинстве станков для лазерной сварки, и она формирует круглое фокусное пятно, которое пригодно для решения большинства задач.

Однако в некоторых случаях для решения конкретных технологических задач могут применяться и специализированные фокусирующие системы. Так, для уменьшения требований к зазорам могут применяться сканирующие системы, позволяющие колебать лазерный луч около оси распространения излучения [16]. Ключевыми параметрами в задании колебаний являются амплитуда, частота и фаза колебаний (рисунок 3.2).

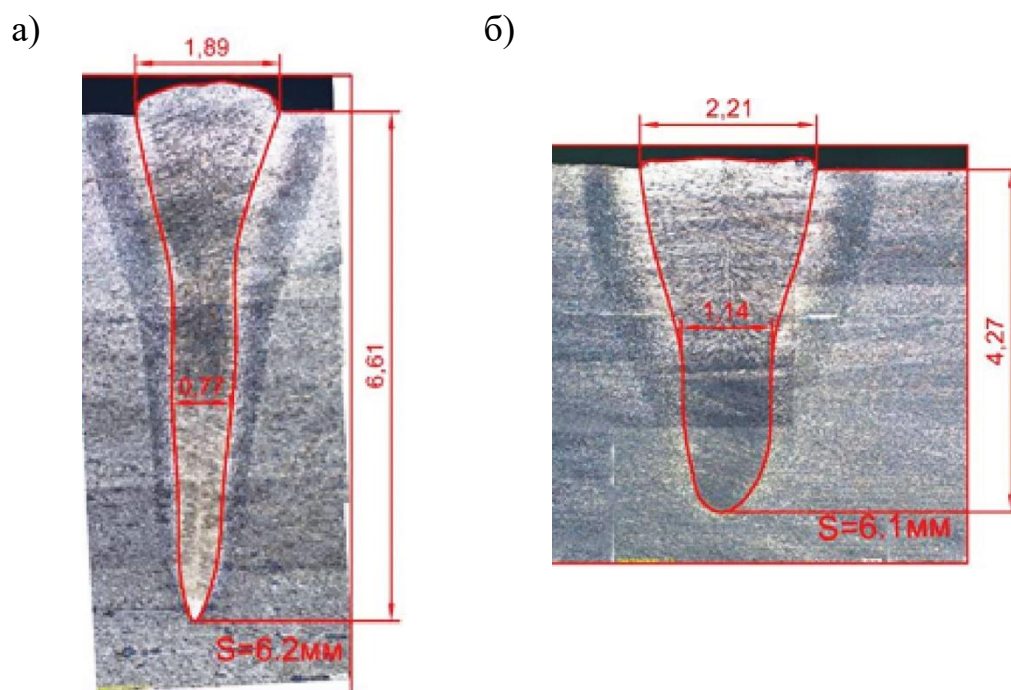


Рисунок 3.2 – Влияние кругового сканирования на геометрию сварного шва: а) без сканирования; б) с круговым сканированием

Помимо сканирования разработаны системы для расщепления лазерного излучения. Двойные фокусные пятна используются как для уменьшения требований к зазорам за счет увеличения ширины сварного шва [15], так и для стабилизации процессов в парогазовом канале и уменьшения количества пор [16]. В первом случае фокусные пятна расположены поперечно сварному шву, во втором случае линейно вдоль сварного шва. Помимо специализированных

оптических систем используются два или более лазеров, излучение которых фокусируется на поверхности свариваемых изделий по различным схемам.

Двухлучевая лазерная сварка является более гибким инструментом в отличие от систем расщепления лазерного луча. Взаимное расположение фокусных пятен, углов подачи лазерного излучения позволяют регулировать различные процессы, возникающие в парогазовом канале, жидкой ванне расплава во время сварки и управлять скоростью кристаллизации и охлаждения сварного шва [15].

4) Классификация по применению присадочного материала

Присадочный материал в виде проволоки при лазерной сварке может использоваться при формировании средних по ширине сварных швов. Присадочная проволока обычно подается в переднюю часть жидкой ванны расплава либо в холодном, либо в горячем состоянии. Разогрев проволоки осуществляется путем резистивного нагрева и регулируется величиной тока, протекающего в проволоке. Добавление присадочного материала позволяет сформировать усиление с лицевой поверхности соединения, а также производить легирование металла шва [17]. Другим способом осуществить присадку возможно при помощи тонких пластин (проставок) из определенного материала, которые в процессе подготовки соединения под сварку фиксируются между свариваемыми кромками. Способ предпочтителен при соединении трудносвариваемых сталей и разнородных материалов. В зависимости от толщины вставки (до 1 мм) можно сформировать на всю глубину отличный по составу сварной шов, состоящий из смеси основного и присадочного материалов.

Следует отметить, лазерная сварка может осуществляться с присадочным материалом в виде порошка. Данный способ возможно применять для устранения плавающих зазоров между свариваемыми кромками, когда порошок предварительно засыпается в имеющийся зазор. Величина зазора в этом случае может составлять 1,5 – 2 мм. При помощи порошка также можно осуществлять легирование сварного шва [13].

					Автоматическая сварка магистральных газопроводов	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5) Классификация по наличию дополнительных источников нагрева

Начиная с 80-х годов лазерный источник нагрева начали применять одновременно с дуговым, назвав технологию комбинированным методом лазерной сварки и дуговым плавящимся электродом [18]. Сейчас эта технология стала достаточно популярной и получила название гибридной технологии лазерной сварки.

Гибридизация процесса может быть как с дуговым процессом, плазменным и с другими источниками тепла. Если два источника находятся достаточно близко друг от друга, то происходит объединение двух источников энергии в одной жидкой ванне расплава и возникает синергетический эффект, т. е. увеличение глубины проплавления. Если два источника разнесены на определенное расстояние, то синергетического эффекта не происходит, то есть процесс становится комбинированным. В этом случае добавление второго источника тепла носит другие конкретные функции. Так, например, наличие дугового источника, который идет впереди лазерного излучения, позволяет произвести предварительный подогрев изделия и увеличить поглощательную способность материала [19]. Если дуговой источник идет позади лазерного излучения, то дуговой процесс влияет на температуру охлаждения жидкого металла, делая термически более мягким, в результате чего лазерная сварка может применяться для трудносвариваемых материалов, также дуговой процесс может использоваться для устранения геометрических дефектов верха сварного шва.

Помимо дуги к лазерному источнику для решения конкретных технологических задач могут добавлять плазму, световое пятно, индукционный подогрев. Последнее позволяет проводить предварительный подогрев свариваемых кромок, что позволяет проводить сварку трудносвариваемых сталей с повышенным углеродным эквивалентом [12].

6) Классификация по виду сварных швов

Известно, что лазерной сваркой можно выполнять различные типы сварных соединений: стыковые, внахлест, угловые, тавровые и т. д. Однако

					Автоматическая сварка магистральных газопроводов	Лист 30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

помимо типовой классификации лазерные сварные соединения можно классифицировать также по виду сварных швов: непрерывные, точечные и короткошовные. Мощными волоконными лазерами непрерывного действия обычно выполняют непрерывные продольные швы. Такие сварные соединения наиболее часто используются для сварки ответственных сварных конструкций, для обеспечения герметичности.

Для сварки менее ответственных конструкций применяют точечную лазерную сварку, такая технология используется при сварке импульсными твердотельными лазерами.

Короткошовная лазерная сварка применяется для сварки тонколистового материала в автомобильной промышленности.

7) Классификация по виду оптических сварочных головок.

Сварочные головки обычно различают по типу оптических элементов: проходного и зеркального типа. Но для самой технологии лазерной сварки большее значение имеют параметры оптической системы, фокусные расстояния коллимирующей и фокусирующей линз, которые для сварочного процесса подбираются конкретно для решения той или иной задачи [20].

Так, в зависимости от основного параметра оптической системы — фокусного расстояния фокусирующей линзы можно различить три вида сварочных головок: короткофокусные, среднефокусные и дальнофокусные [21]. К короткофокусным системам можно отнести системы с фокусным расстоянием до 200 мм. К среднефокусным — от 200–600 мм. К длиннофокусным — от 600 мм и выше.

8) Классификация по типу защиты сварного шва от окружающей среды

Обычно лазерную сварку волоконными лазерами осуществляют в среде защитного газа аргон, как наиболее дешевого инертного газа. Длина волны волоконных лазеров 1065–1085 нм не поглощается аргоном. Однако приповерхностная плазма все равно присутствует, т. к. во время сварки аргон смешивается с парами металла и происходит ионизация. При повышении мощности лазерного излучения (свыше 5 кВт) приповерхностная плазма

					Автоматическая сварка магистральных газопроводов	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

увеличивается, прозрачная плазма для лазерного излучения волоконного лазера уменьшается из-за наличия различных примесей, что вносит видимые искажения в процесс фокусировки лазерного излучения [22].

Для подавления плазмы и увеличения стабильности лазерной сварки возможно применение различных смесей инертных газов. Добавление гелия позволяет уменьшить размер приповерхностной плазмы, снизить ее температуру и увеличить прозрачность для лазерного излучения, тем самым повысить стабильность процесса сварки.

Для решения узкоспециализированных задач, например, для увеличения глубины проплавления, производительности или для уменьшения вероятности появления дефектов в сварном шве добавляют активные газы: углекислоту, кислород, водород или азот. Так, кислород, попадая в большом количестве в сварной шов, однозначно ухудшает прочность сварного шва, так как появляются оксиды, которые выпадают по границам зерен кристаллов, что в конечном счете увеличивает вероятность появления горячих и холодных трещин. Однако добавления кислорода в защитный газ в лимитированном размере позволяет стабилизировать парогазовый канал, в результате чего снижается количество внутренних дефектов в виде пор. Углекислота оказывает аналогичное влияние [23]. Небольшое количество азота в защитном газе на некоторых сталях, которые содержат такие легирующие элементы, как марганец, титан, молибден, оказывает положительное воздействие. Образование нитридов увеличивает прочность сварного шва с уменьшением пластичности.

Другим методом защиты сварного шва является применение сварочного флюса, который может использоваться сверху для защиты сварного шва от взаимодействия с окружающей средой, так и снизу в виде флюсовой подушки для поддержания жидкой ванны расплава и для защиты от окисления [24].

3.2.2 Технология лазерной сварки магистрального газопровода

					Автоматическая сварка магистральных газопроводов	Лист 32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Лазерная сварка кольцевых неповоротных стыков труб волоконными лазерами разработана ООО «НТО «ИРЭ - Полюс» и ООО «НКП «УТС Интеграция». На сегодняшний день эта разработка не имеет аналогов в мире.

В ее основе лежит возможность сварки коня шва в режиме глубокого проплавления за один проход и заполнения узкощелевой разделки кромок присадочной проволокой. Свариваемый стык собирается без зазора, величина притупления кромок труб может достигать 8 мм, а угол раскрытия составляет не более 2 градусов [26, 27].

На рисунке 3.3 представлено сравнение предложенной разделки с разделкой кромок для сварочного комплекса CRC-Evans [28].

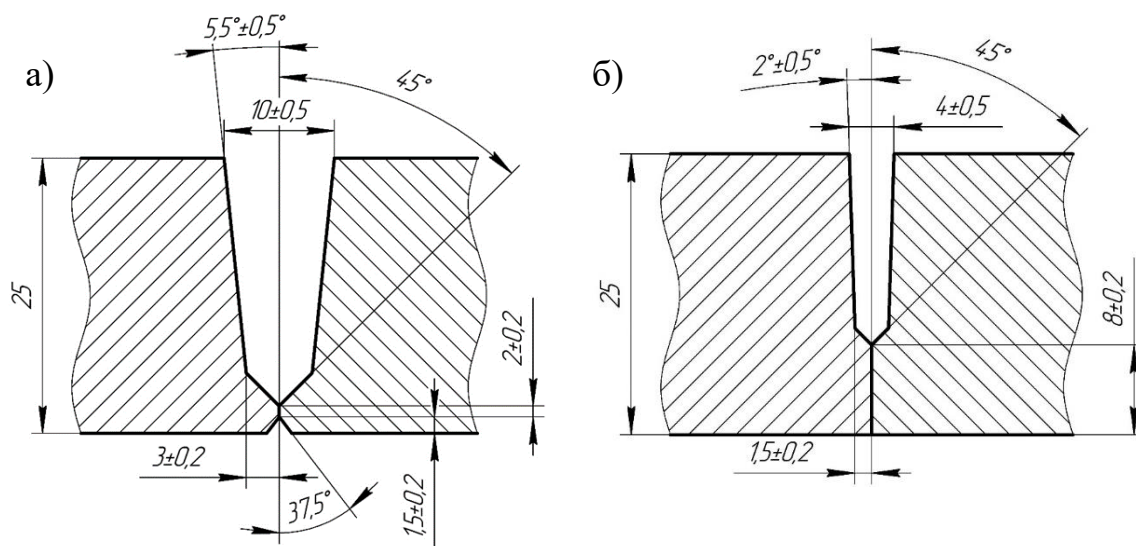


Рисунок 3.3 – Разделки кромок: а) для сварки комплексом CRC-Evans; б) для лазерной сварки

В ходе исследований была отработана следующая технология [25]. После подготовки кромок осуществляется сборка труб на внутреннем центраторе, а затем предварительный подогрев стыка. Сварка корня проводится за один проход с добавлением присадочной проволоки. Следом идет корректирующий проход, который выравнивает поверхность верхней части корневого шва для подготовки под заполнение. Заполняющие проходы выполняются методом сканирования лазерным лучом с добавлением

присадочной проволоки. Облицовочный проход производится в режиме расфокусировки лазерного луча с одновременным увеличением мощности излучения.

3.2.3 Оборудование для лазерной сварки магистрального газопровода

Для реализации описанной технологии была разработана установка для лазерной сварки труб УЛСТ-1 (рисунок 3.4). Установка позволяет выполнять сварку труб диаметром от 500 до 1420 мм.

а)



б)



Рисунок 3.4 – УЛСТ-1: а) общий вид; б) сварочная головка

На ее базе, для работы в трассовых условиях, произведен самоходный агрегат лазерной сварки САЛС на шасси гусеничного трактора с двигателем ЯМЗ-НДЗ (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – САЛС

В состав САЛС входят [25]:

- две сварочные каретки, оснащенные оптической лазерной головкой, датчиком положения сварочной каретки, датчиком слежения за разделкой кромок, механизмом подачи проволоки;
- комплект направляющих поясов на диаметры от 500 до 1420 мм;
- пульт дистанционного управления;
- два волоконных иттербиевых лазера мощностью 10 кВт;
- волоконно-оптический кабель для передачи излучения;
- охлаждающие устройства;
- блок электропитания и управления, включая программатор для программирования и проверки параметров на УЛСТ;
- дизельный генератор мощностью 160 кВт;
- промышленный компрессор;
- баллоны с газовой смесью;
- защитное укрытие.

Защитное укрытие представляет собой сборно-разборную конструкцию, имеющую две двери, лестницу на крышу, четыре вентилятора, два прожектора, четыре пена под сварочную проволоку, четыре розетки на напряжение 220 В переменного тока, два держателя для шлифмашинок.

					Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Технологическое проектирование автоматической сварки магистральных газопроводов			Лит.	Лист	Листов		
Разраб.		Ерохин А.А.										
Рцковод.		Антропова Н.А.								36	94	
Консульт.								НИ ТПУ гр. 25М81				
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.										

Механические свойства основного металла труб, изготовленных из стали 10Г2ФБЮ, в соответствии с ТУ 1381-012-05757848-2005, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Механические свойства основного металла труб класса прочности К60 из стали 10Г2ФБЮ.

Временное сопротивление σ_B , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{П0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Ударная вязкость	
			КСУ, Дж/см ²	КСV, Дж/см ²
590	480	20	58,8	107,8

4.2 Сварочные материалы

Согласно СТО Газпром 2-2.2-136-2007 [28], а также «Технических требований к сварке и неразрушающему контролю качества сварных соединений при строительстве магистрального газопровода «Сила Сибири», в том числе при пересечении зон активных тектонических разломов» [29] для автоматической сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах выбираем сварочную проволоку К-600 производства Böhler Schweißtechnik Deutschland GmbH (Германия) диаметром 1,2 мм, химический состав которой соответствует AWS A5.18: ER70S-6 (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Химический состав проволоки К-600 согласно AWS A5.18: ER70S-6

Массовая доля элемента, %				
C	Mn	Si	P	S
0,07	1,63	0,93	0,012	0,005

Данный материал выбран для обеих технологий сварки.

4.3 Режимы сварки магистрального газопровода

Совокупность наиболее важных характеристик сварочного процесса, которые обеспечивают получение сварных швов нужных размеров и формы называют режимом сварки.

Перед началом процесса сварки стыковых соединений с разделкой кромок необходимо определить число проходов, для этого рассчитывают общую площадь поперечного сечения наплавленного металла. На рисунках 4.1 и 4.2 представлены геометрические размеры разделки кромок труб, а также схемы поперечных сечений сварных швов, выполненных рассматриваемыми технологиями сварки.

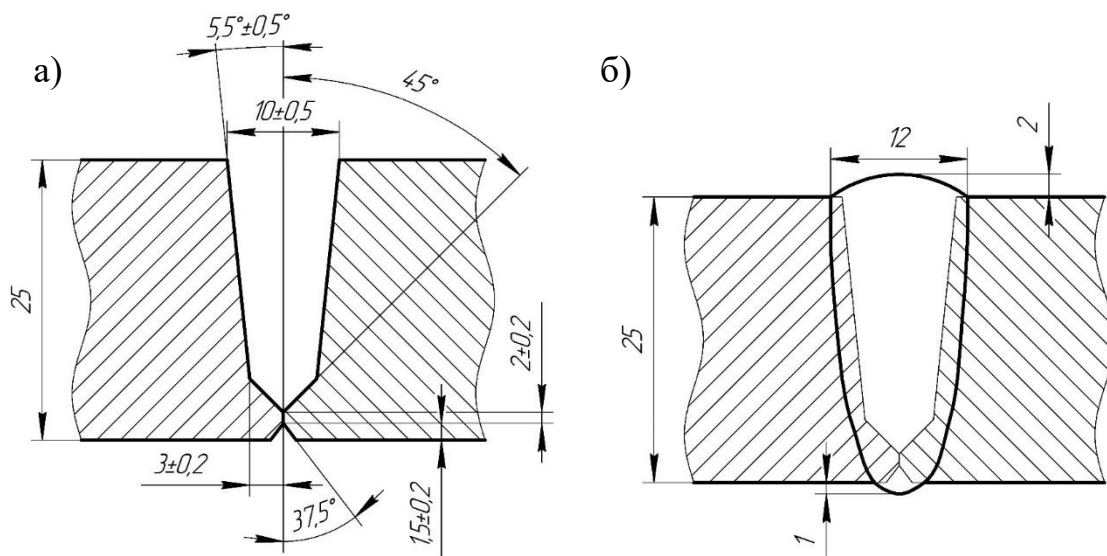


Рисунок 4.1 – CRC-Evans: а) разделка кромок; б) поперечное сечение сварного шва.

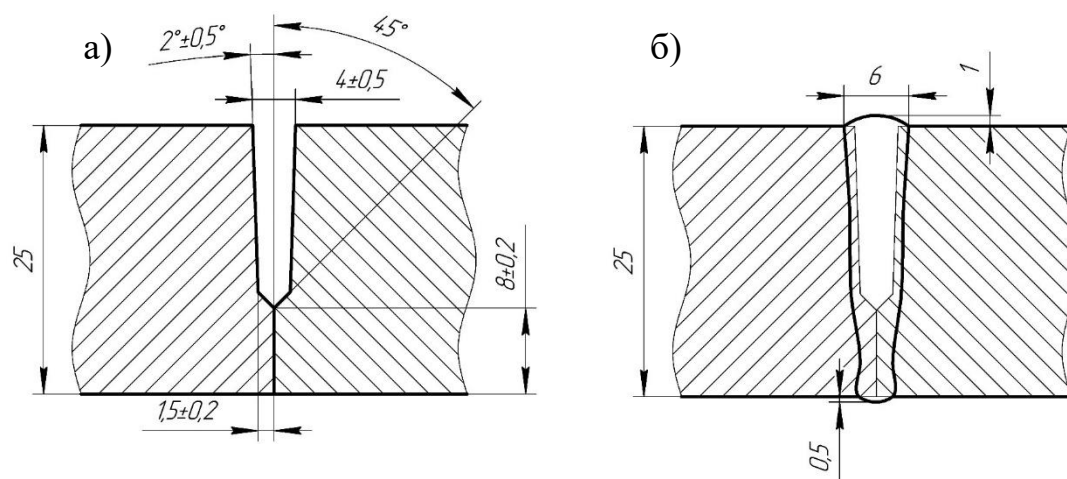


Рисунок 4.2 – Лазерная сварка волоконным лазером: а) разделка кромок; б) поперечное сечение сварного шва.

Площадь наплавки обычно находят как сумму площадей элементарных геометрических фигур.

Тогда, площадь наплавки при использовании сварочного комплекса CRC-Evans:

$$F_{CRC} = 1,5^2 * ctg 37,5^\circ + 3^2 * ctg 45^\circ + 2^2 * ctg 5,5^\circ + 6 * (25 - 1,5 - 2 - 3 * ctg 45^\circ) + 12 * 2 * 0,75 = 181,3 \text{ мм}^2.$$

Площадь наплавки при использовании лазерной сварки волоконным лазером:

$$F_{LC} = 1,5^2 * ctg 45^\circ + 0,5^2 * ctg 2^\circ + 3 * (25 - 8 - 1,5 * ctg 45^\circ) + 6 * 1 * 0,75 = 60,4 \text{ мм}^2.$$

Исходя из расчетов, видно, что площадь поперечного сечения сварного шва, а следовательно, и объем наплавленного металла при применении технологии сварки волоконным лазером уменьшается в три раза.

Максимальная площадь поперечного сечения металла шва, наплавляемого за один проход, составляет 30 – 40 мм². Эти значения обусловлены процессами, проходящими при кристаллизации сварочного валика.

Соответственно число проходов для каждого метода следующие:

- CRC-Evans – 6 проходов;

- лазерная сварка волоконным лазером – 4 прохода.

Основные значения параметров сварки приведены в таблицах 4.4 – 4.5.

Таблица 4.4 – Параметры сварки сварочным комплексом CRC-Evans

Параметры	Наименование слоя шва		
	Горячий проход	Заполняющий	Облицовочный
Направление сварки	На спуск		
Диаметр проволоки, мм	1,2		
Скорость подачи проволоки, см/мин	914 - 952	711 - 1206	508 - 762
Сила тока, А	270 - 340	240 - 310	165 - 210
Напряжение на дуге, В	22 - 26	18 - 26	17 - 24
Вылет электрода, мм	10 - 15	12 - 17	12 - 19
Скорость сварки, см/мин	115 - 147	41 - 74	38 - 76
Частота колебаний электрода, мин ⁻¹	200-220	160-210	150-200
Амплитуда колебаний электрода, мм	12		
Защитный газ (Ar/CO ₂), %	80/20		
Расход газа, л/мин	40 - 45		

Таблица 4.5 – Параметры лазерной сварки волоконным лазером

Параметры	Наименование слоя шва			
	Корневой	Корректирующий	Заполняющий	Облицовочный
Направление сварки	На спуск			
Диаметр проволоки, мм	1,2			
Скорость подачи проволоки, см/мин	350	-	300 - 500	500
Мощность лазерного излучения, кВт	4,5	3,5	5,5 – 6,0	8,0
Фокусировка лазерного излучения, мм	8±1	15±2	15±2	24±2
Вылет электрода, мм	6 - 10		10 - 15	10 - 15
Скорость сварки, см/мин	60	60	60	60
Частота колебаний электрода, мин ⁻¹	-	-	150	-
Амплитуда колебаний электрода, мм	-	-	6	-
Защитный газ (Ar/CO ₂), %	80/20	80/20	80/20	80/20
Расход газа, л/мин	40 - 45	40 - 45	40 - 45	40 - 45

5. Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода

5.1 Создание сетки конечных элементов

Построение конечно элементных сеток являются важным этапом решения задачи по определению напряженно-деформированного состояния конструкций.

Для расчета объектов моделирования в программном комплексе Ansys 18.2 была построена конечно-элементная сетка типа «Mechanical», с качеством «Fine».

Общие виды и разрезы геометрических моделей с наложенной сеткой представлены на рисунках 5.1 – 5.4.

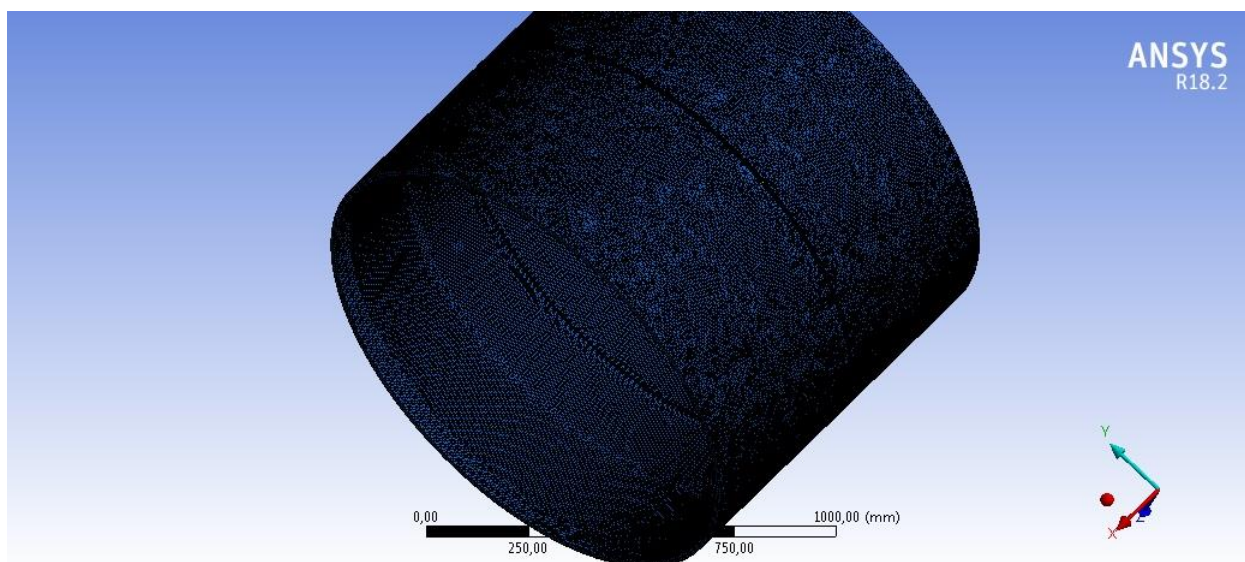


Рисунок 5.1 – Общий вид конечно-элементной сетки модели участка газопровода со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans.

					Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Ерохин А.А.			Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода	Лит.	Лист	Листов	
Рцковод.		Антропова Н.А.					41	94	
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ81			
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.							

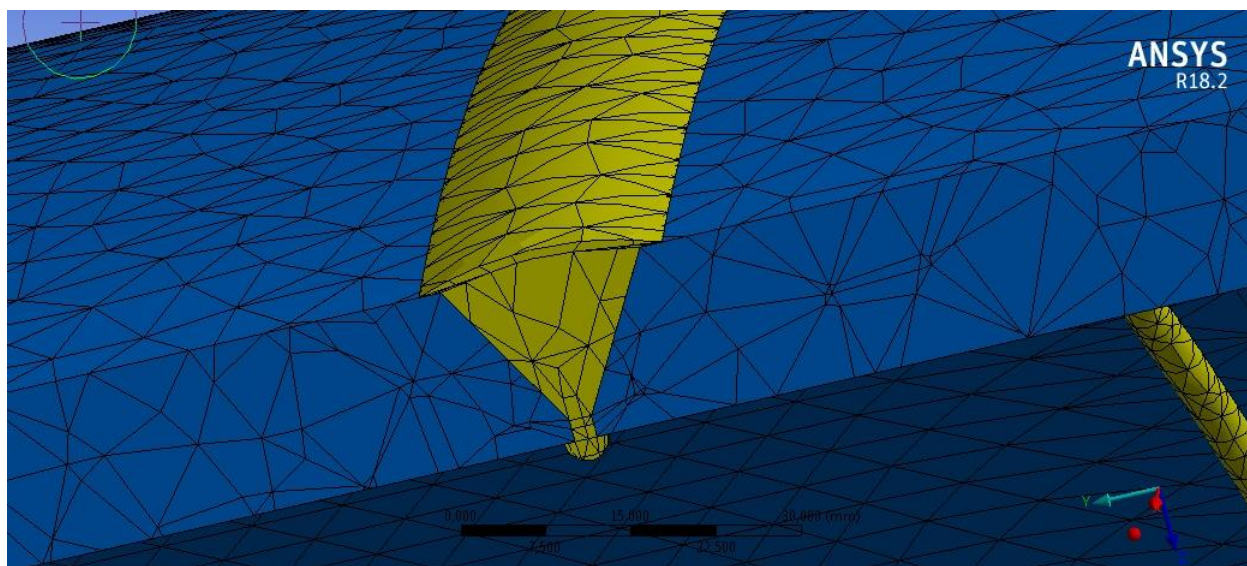


Рисунок 5.2 – Увеличенный вид конечно-элементной сетки геометрической модели участка газопровода со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans, в разрезе.

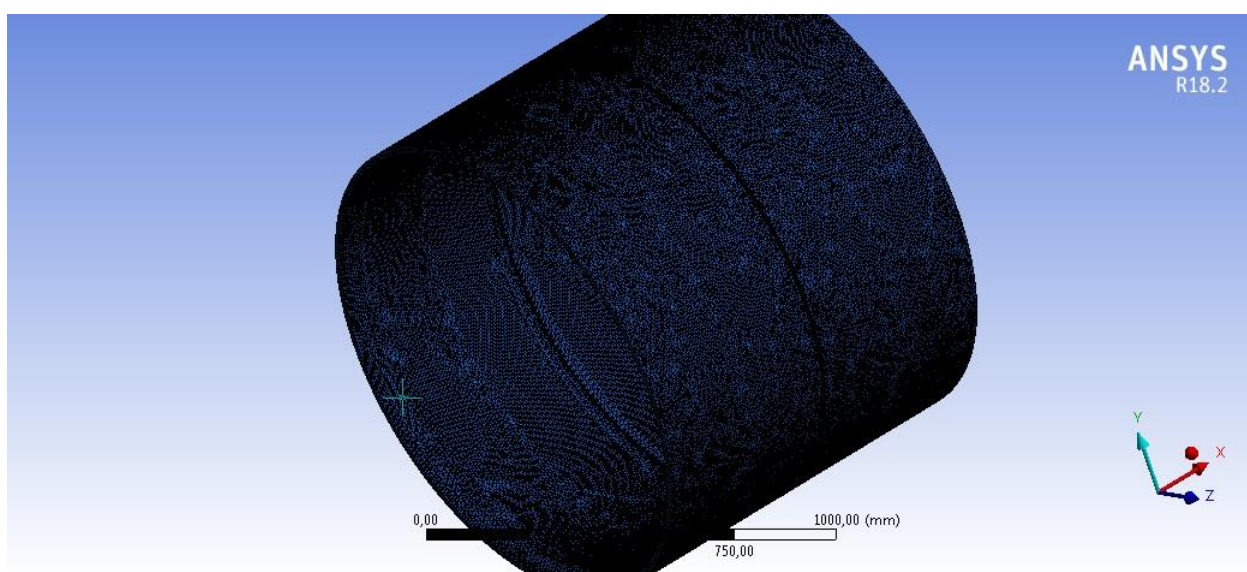


Рисунок 5.3 – Общий вид конечно-элементной сетки модели участка газопровода со сварным швом, выполненным лазерной сваркой волоконным лазером.

					<i>Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

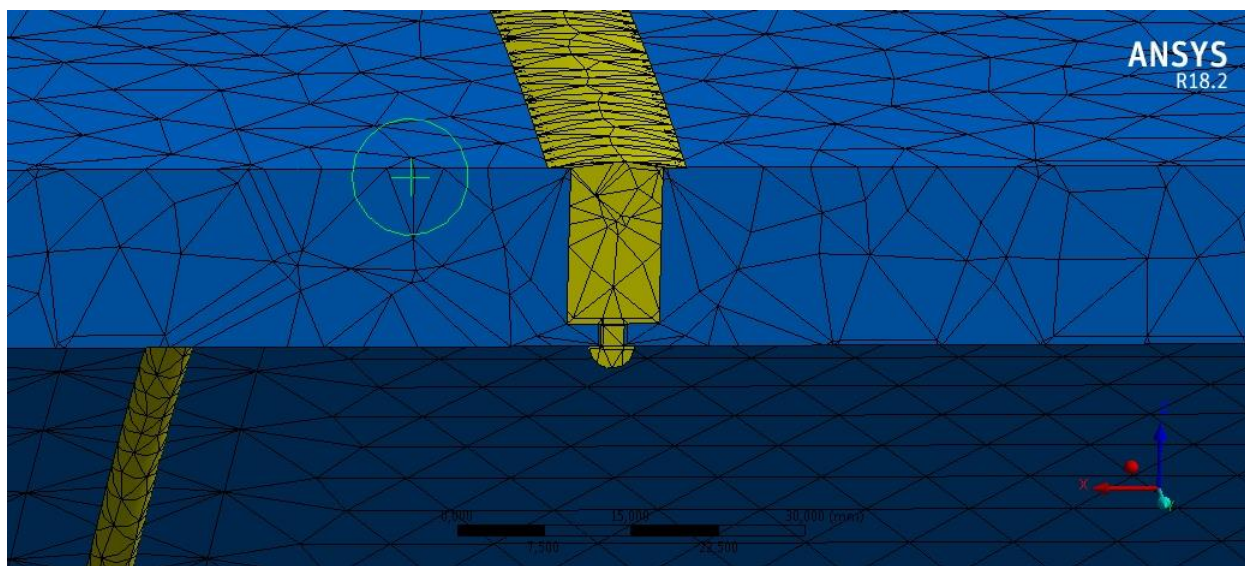


Рисунок 5.4 – Увеличенный вид конечно-элементной сетки модели участка газопровода со сварным швом, выполненным лазерной сваркой волоконным лазером, в разрезе.

5.2 Расчет участка магистрального газопровода на прочность

Расчет магистрального газопровода на прочность осуществлялся для случаев воздействия растягивающей, сжимающей нагрузки и нагрузки от изгиба.

5.2.1 Расчет на растяжение

Растяжение участка газопровода бывает в случае тепловых деформаций. Для построения модели нагрузки от этих деформаций были приложены строго по оси газопровода. Так же для уточнения модели была добавлена нагрузка от внутреннего давления и воздействие, имитирующее грунт.

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.2.1.1 Расчет модели участка газопровода со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans

Все нагрузки и воздействия, действующие на модель показаны на рисунке 5.5.

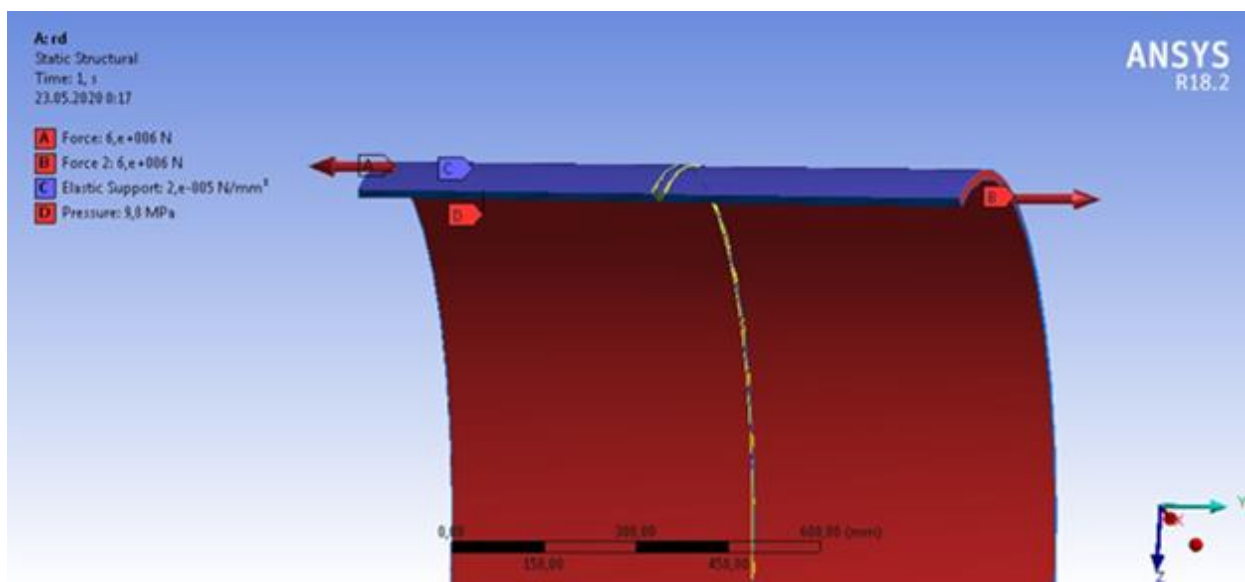


Рисунок 5.5 – Модель с приложенными нагрузками и воздействиями.

Результат приложения нагрузок и воздействий показан на рисунках 5.6 – 5.7

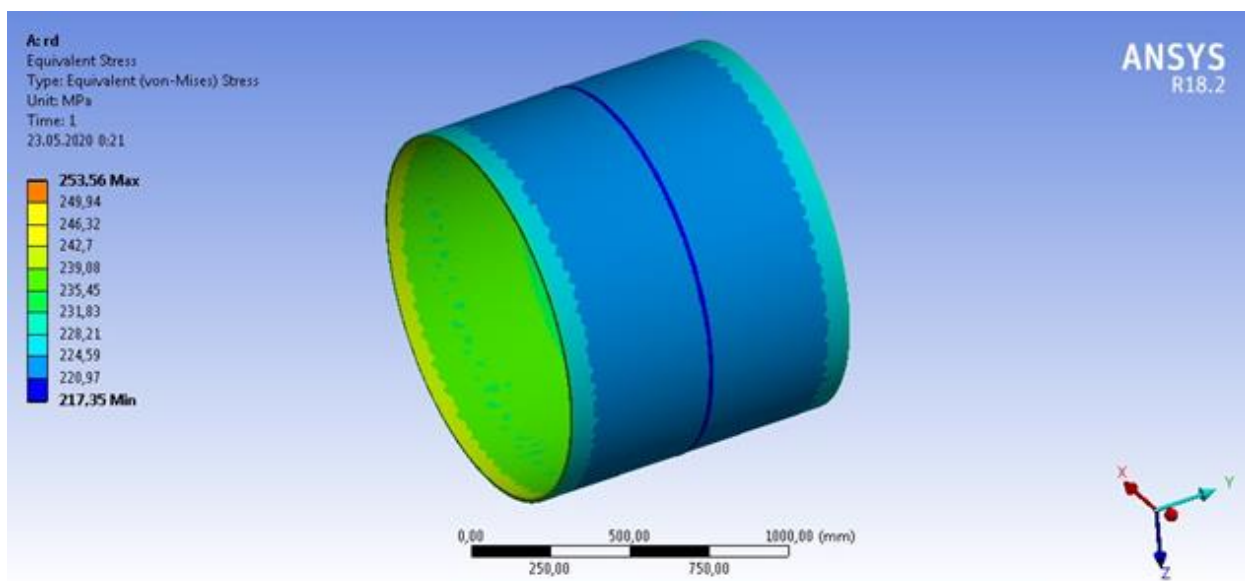


Рисунок 5.6 – Общий вид модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода	Лист 44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

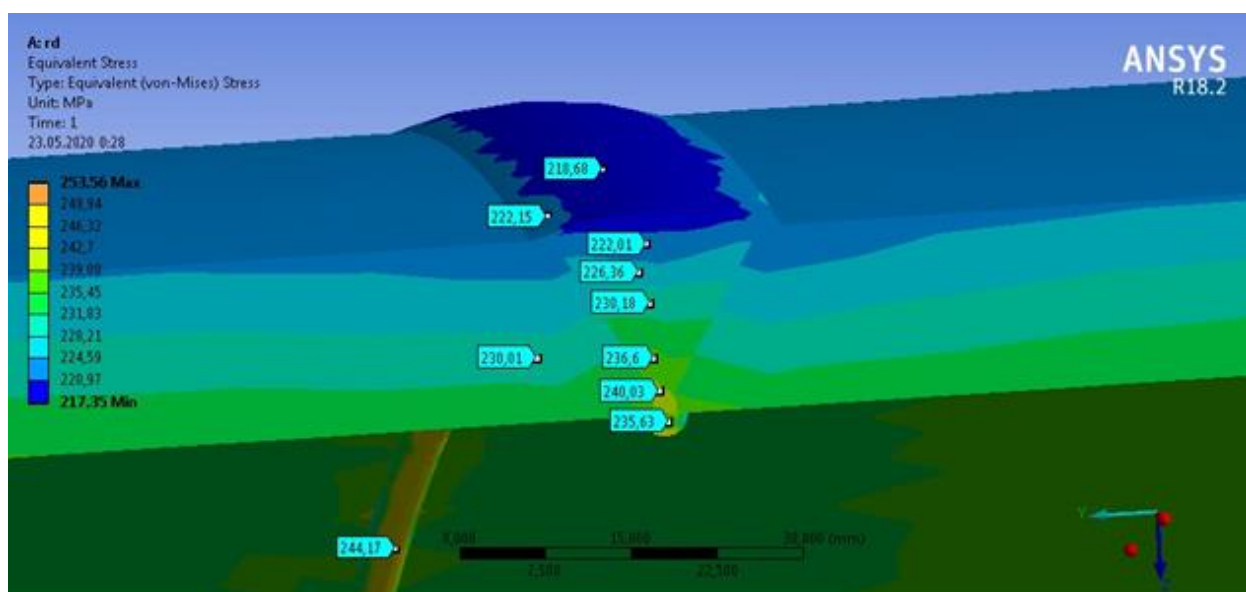


Рисунок 5.7 – Разрез модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

5.2.1.2 Расчет модели участка газопровода со сварным швом, выполненным лазерной сваркой волоконным лазером

Все нагрузки и воздействия, действующие на модель показаны на рисунке 5.8.

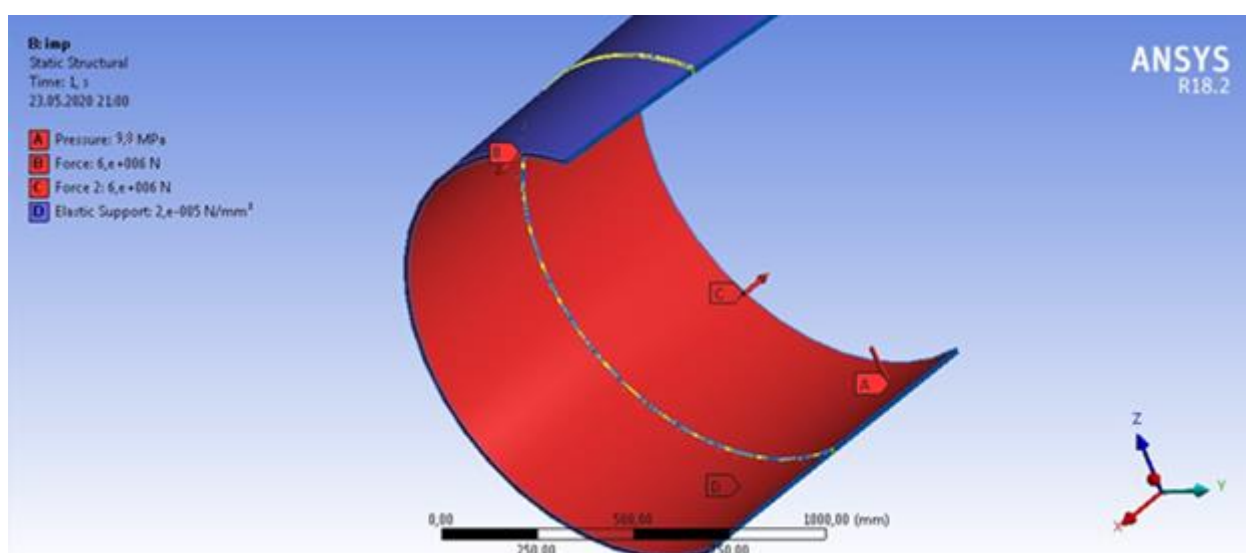


Рисунок 5.8 – Модель с приложенными нагрузками и воздействиями.

Результат приложения нагрузок и воздействий показан на рисунках 5.9 – 5.10.

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода	Лист 45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

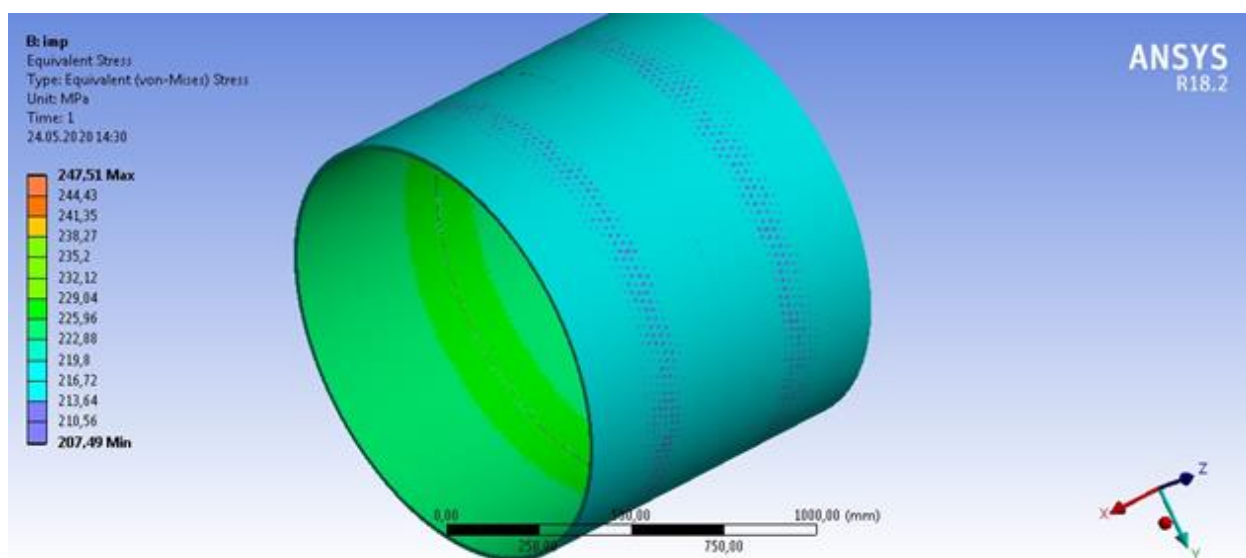


Рисунок 5.9 – Общий вид модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

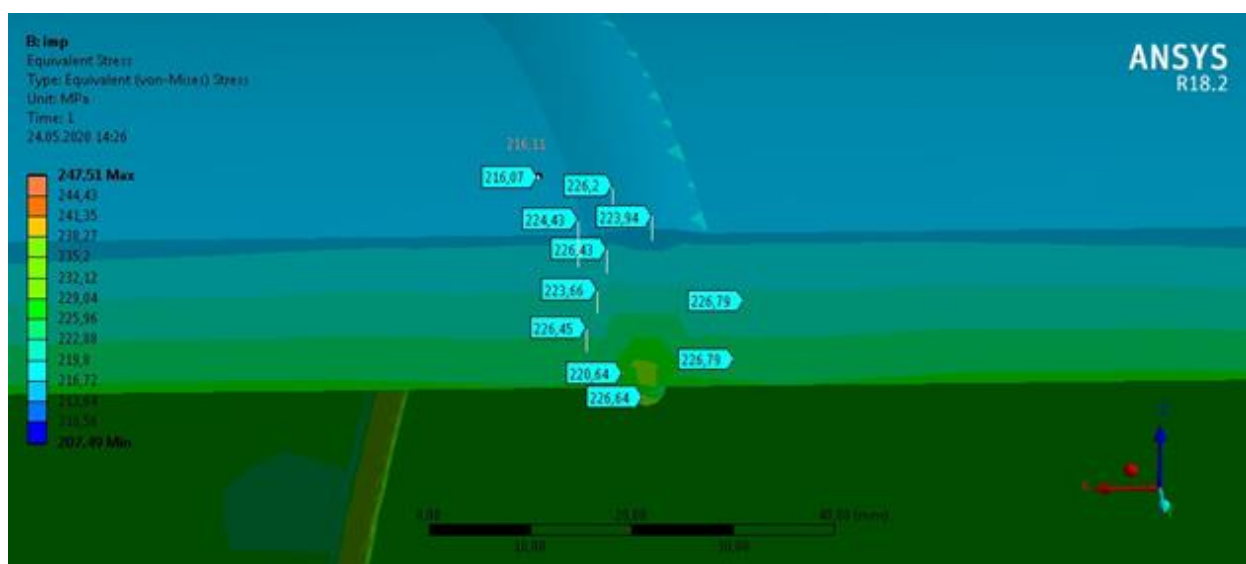


Рисунок 5.10 – Разрез модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

5.2.2 Расчет на сжатие

Сжатие участка газопровода бывает в случае тепловых деформаций. Для построения модели нагрузки от этих деформаций были приложены строго по оси газопровода. Так же для уточнения модели была добавлена нагрузка от внутреннего давления и воздействие имитирующее грунт.

5.2.2.1 Расчет модели участка газопровода со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans

Все нагрузки и воздействия, действующие на модель показаны на рисунке 5.11.

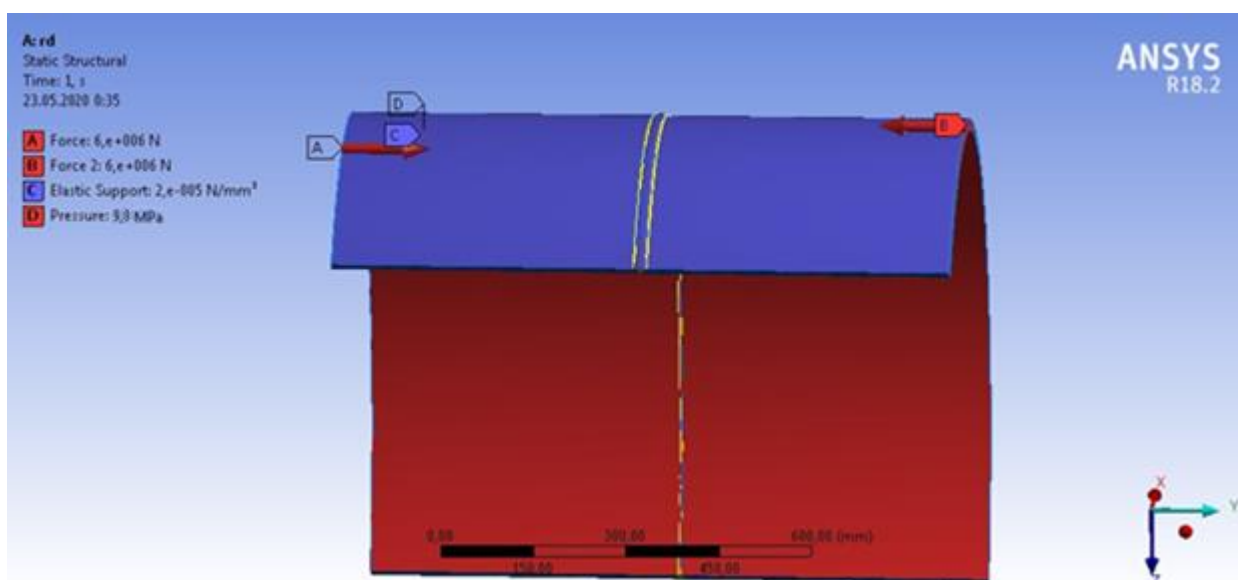


Рисунок 5.11 – Модель с приложенными нагрузками и воздействиями.

Результат приложения нагрузок и воздействий показан на рисунках 5.12 – 5.13.

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

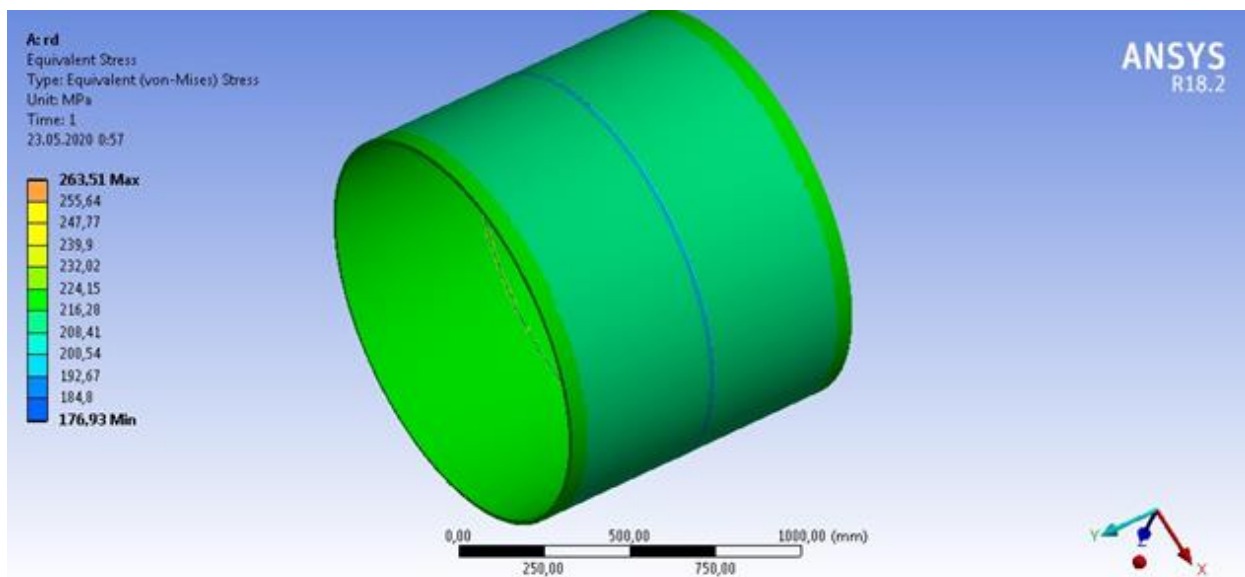


Рисунок 5.12 – Общий вид модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

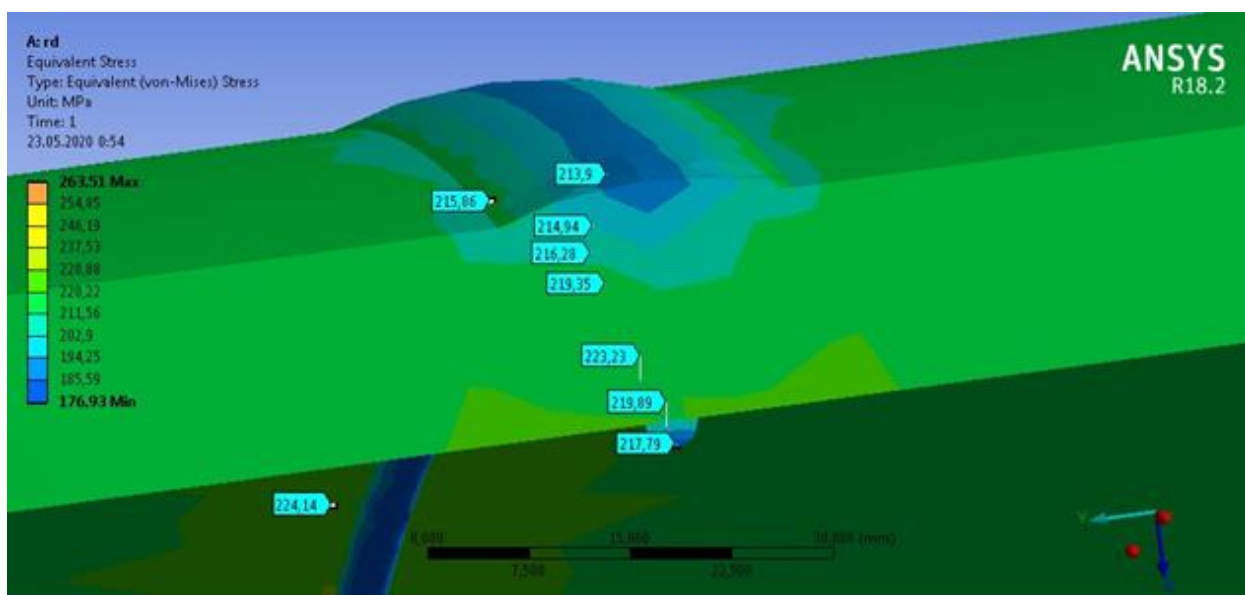


Рисунок 5.13 – Разрез модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

5.2.2.2 Расчет модели участка газопровода со сварным швом, выполненным лазерной сваркой волоконным лазером

Все нагрузки и воздействия, действующие на модель показаны на рисунке 5.14.

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

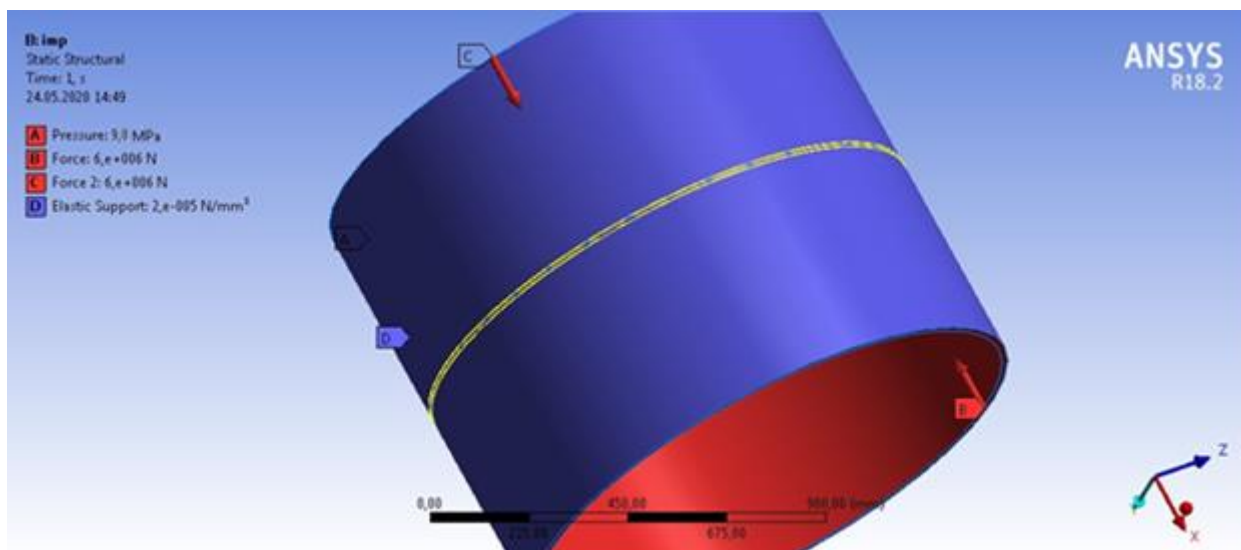


Рисунок 5.14 – Модель с приложенными нагрузками и воздействиями.

Результат приложения нагрузок и воздействий показан на рисунках 5.15 – 5.16.

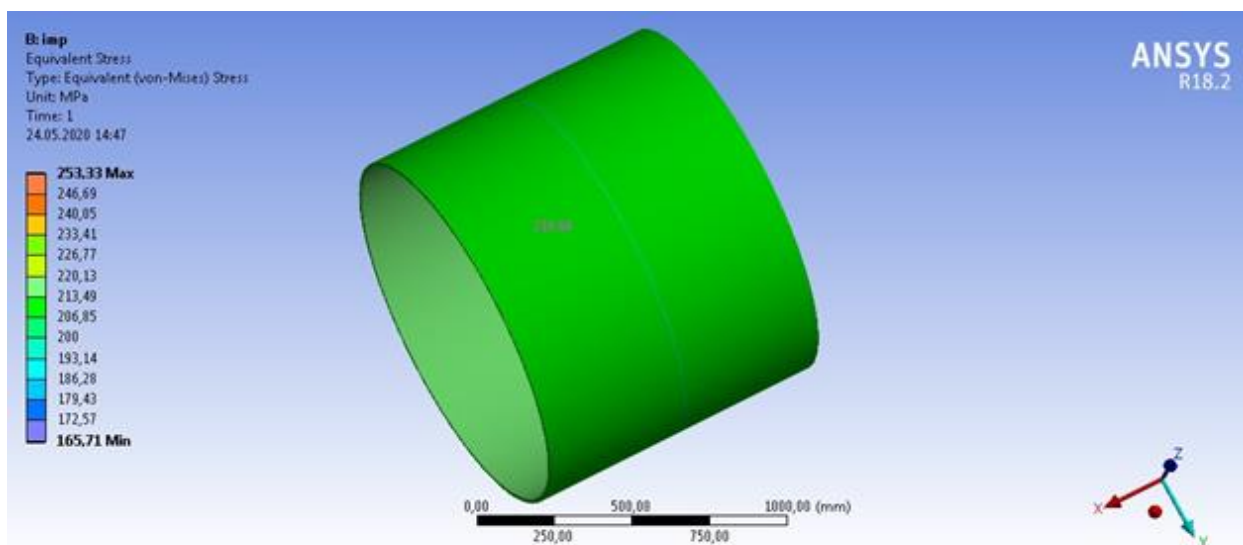


Рисунок 5.15 – Общий вид модели с результатом приложения нагрузок и воздействий

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

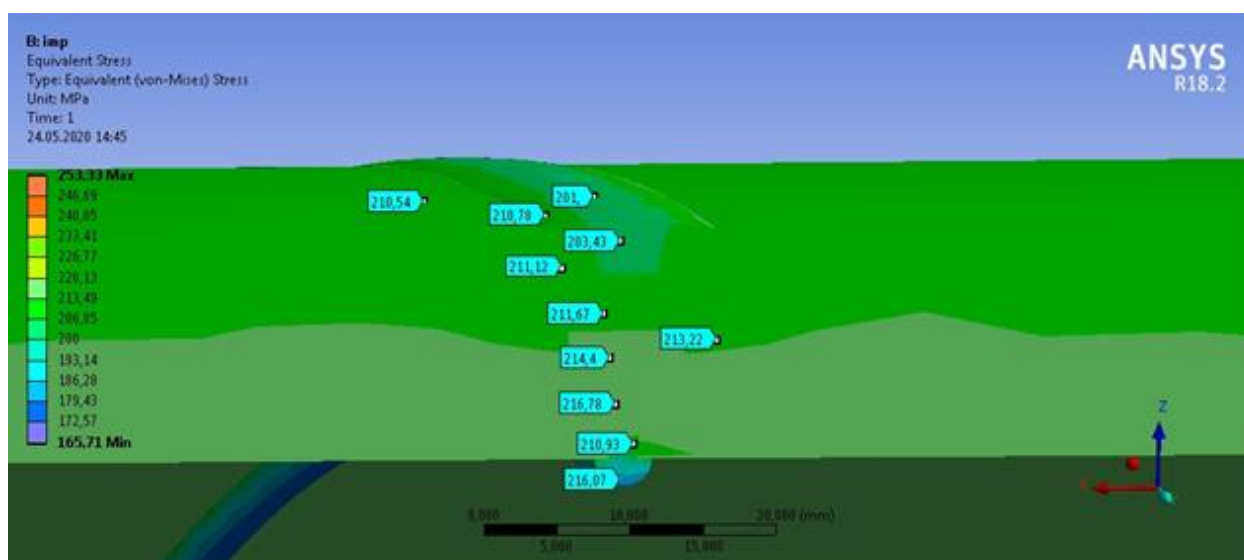


Рисунок 5.16 – Разрез модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

5.2.3 Расчет на изгиб

Изгиб участка газопровода бывает в случае просадки грунта основания. Для построения модели нагрузки от этих деформаций были приложены строго перпендикулярно оси газопровода. Концы модели были зафиксированы от всех перемещений, кроме осевых. Так же для уточнения модели была добавлена нагрузка от внутреннего давления и воздействие гравитационного поля Земли.

5.2.3.1 Расчет модели участка газопровода со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans

Все нагрузки и воздействия, действующие на модель показаны на рисунке 5.17.

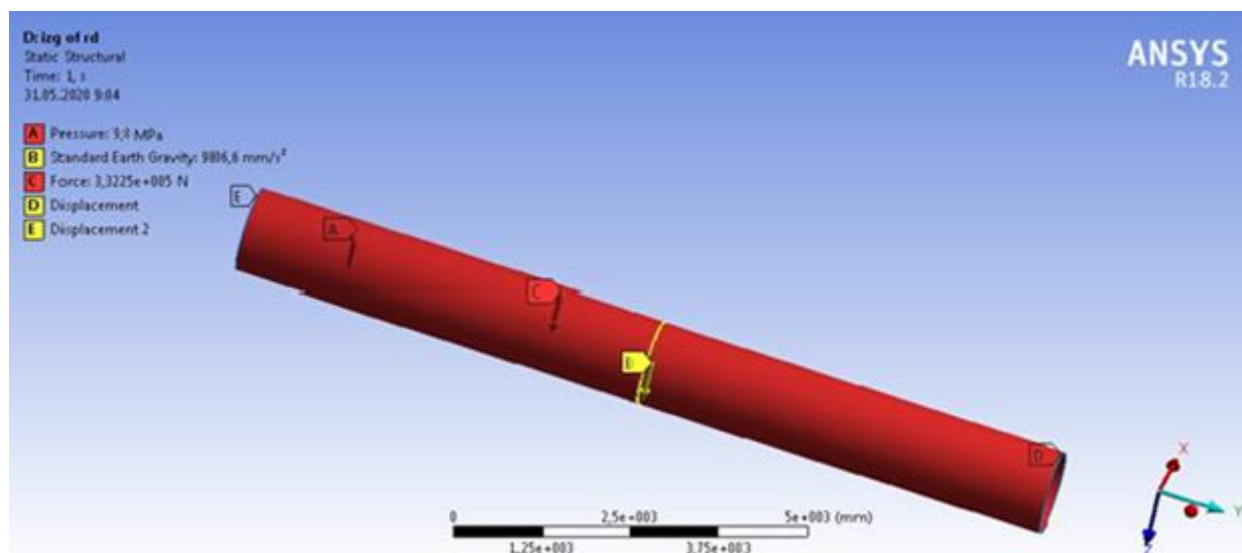


Рисунок 5.17 – Модель с приложенными нагрузками и воздействиями.

Результат приложения нагрузок и воздействий показан на рисунках 5.18 – 5.19.

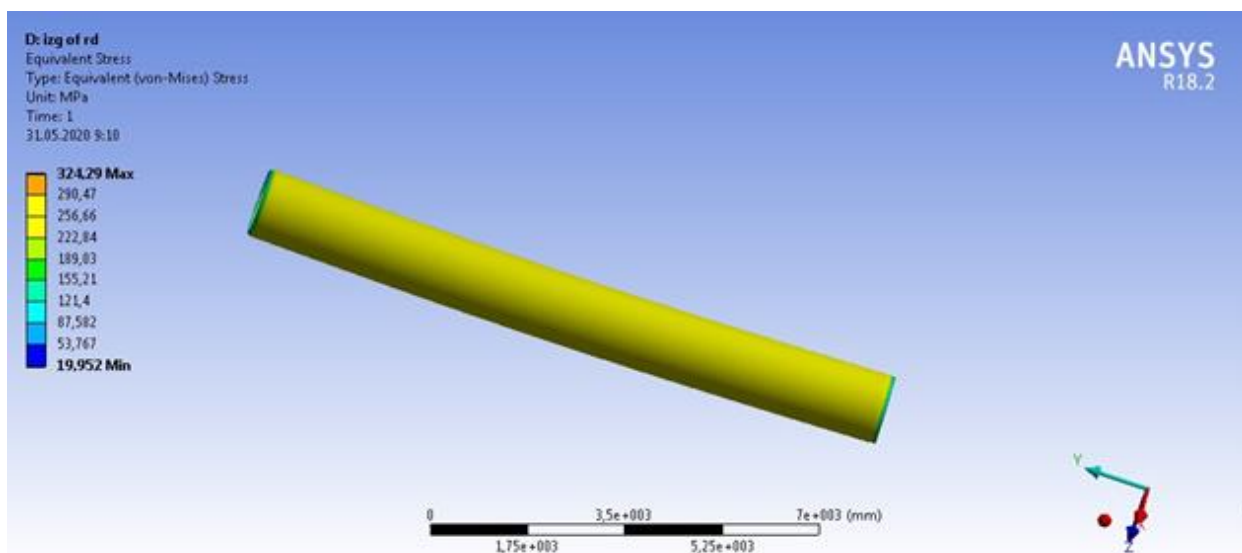


Рисунок 5.18 – Общий вид модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

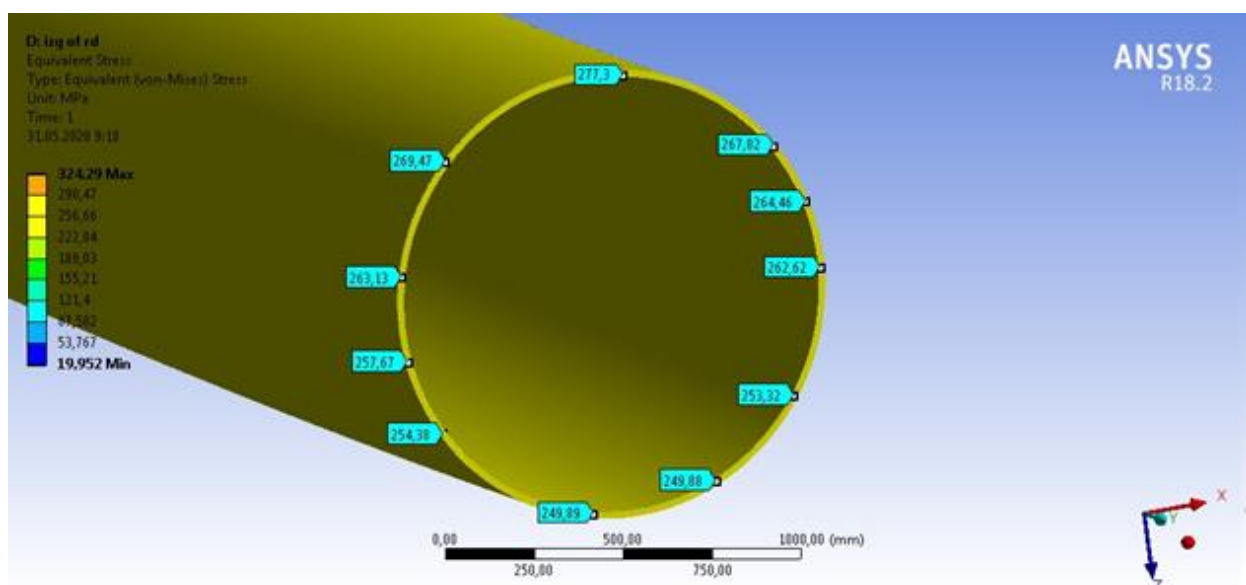


Рисунок 5.19 – Разрез модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

5.2.3.2 Расчет модели участка газопровода со сварным швом, выполненным лазерной сваркой волоконным лазером

Все нагрузки и воздействия, действующие на модель показаны на рисунке 5.20.

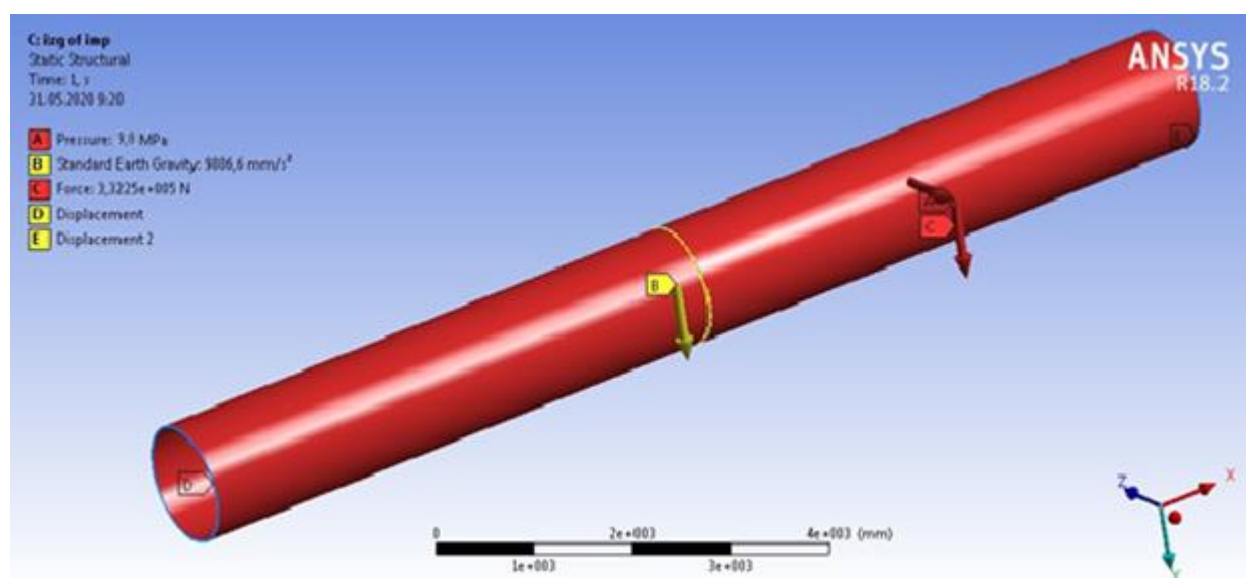


Рисунок 5.20 – Модель с приложенными нагрузками и воздействиями.

Результат приложения нагрузок и воздействий показан на рисунках 5.21 – 5.22.

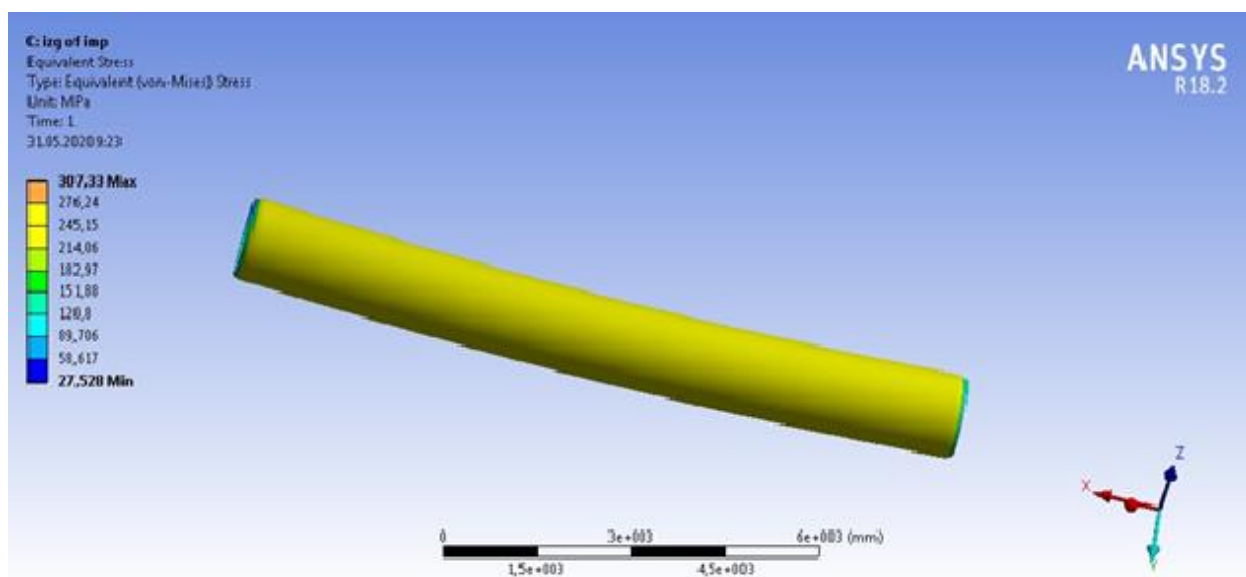


Рисунок 5.21 – Общий вид модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

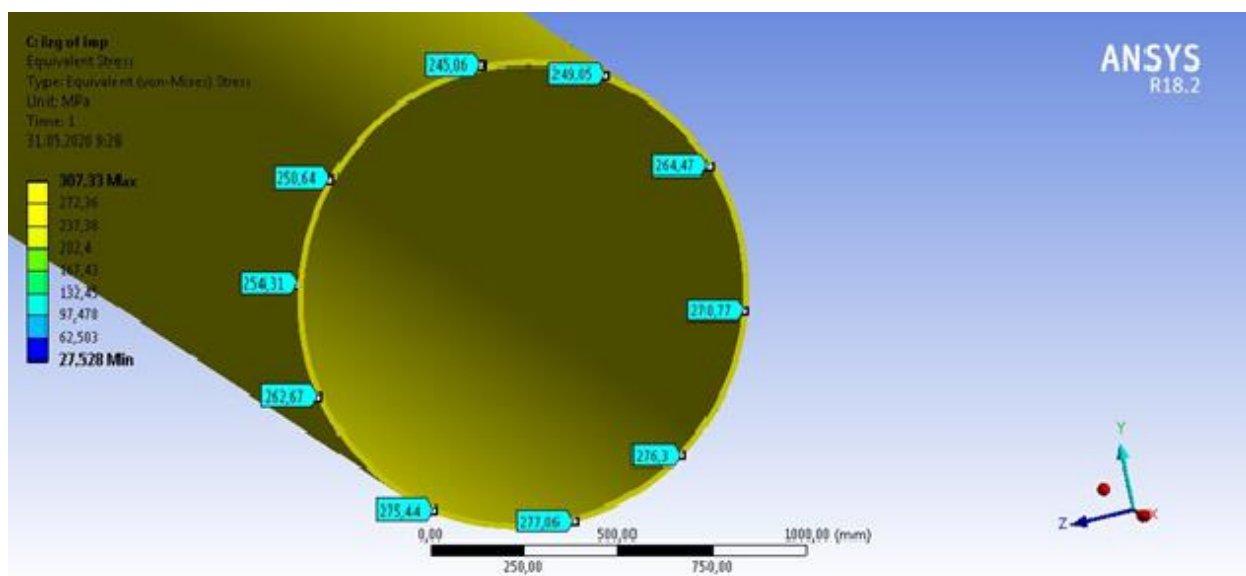


Рисунок 5.22 – Общий вид модели с результатом приложения нагрузок и воздействий.

5.3 Анализ результатов моделирования

По результатам моделирования в программном комплексе Ansys видно, что напряжения в сварных соединениях участка магистрального газопровода из труб марки стали 10Г2ФБЮ класса прочности К60, полученных методом лазерной сварки волоконным лазером меньше, чем при дуговой сварке по технологии CRC-Evans. При растяжении – на 8,9 %; при сжатии – на 7,5 %.

Дополнительно в работе смоделировано напряженно-деформированное состояние участка магистрального газопровода при работе на изгиб. По результатам видно, что напряжения в сечении сварного соединения меняются в пределах 1%. Следовательно, при изгибающих нагрузках лазерная сварка волоконным лазером, ничем не уступает дуговой сварке сварочным комплексом CRC-Evans.

					<i>Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода</i>	<i>Лист</i>
						54
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Внедрение технологии лазерной сварки волоконным лазером (сварочного комплекса УЛСТ) при строительстве и ремонте магистральных газопроводов позволит сэкономить на количестве сварочных материалов, а также увеличит темпы производства работ.

В разделе приведено сравнение данного метода сварки газопроводов с технологией CRC-Evans (сварочным комплексом CRC-Evans AW) – самой производительной из существующих на сегодняшний день.

6.1 Расчет нормативной продолжительности выполнения работ

В таблице 6.1 представлены нормы времени на сварку одного стыка магистрального газопровода. При использовании сварочного комплекса CRC-Evans AW сварка корня шва и горячего прохода выполняется одновременно.

Таблица 6.1 – Продолжительность работ по сварке одного стыка

Наименование операции	Сварка комплексом CRC-Evans	Лазерная сварка волоконным лазером
Подготовка кромок труб, мин	3	3
Сборка стыка, мин	5	5
Предварительный подогрев, мин	7	7
Сварка корня шва, мин	4	7
Сварка горячего прохода, мин	4	-
Сварка первого заполняющего слоя, мин	9	7
Сварка второго заполняющего слоя, мин	9	7
Сварка третьего заполняющего слоя, мин	9	-
Сварка облицовочного слоя, мин	9	7
Итого, мин	40	28

					<i>Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ерохин А.А.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист
Руковод.		Антропова Н.А.					55
Консульт.							94
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.				НИ ТПУ гр. 2БМ81	

6.2 Расчет сметной стоимости работ

При помощи ресурсного метода, суть которого заключается в калькулировании в текущих ценах и тарифах ресурсов, которые необходимы для реализации проекта, производится расчет сметной стоимости.

При составлении смет используют натуральные измерители расходов материалов и конструкций, затрат времени эксплуатации, затрат труда рабочих. Основу данного расчета составляют затраты на [32]:

- материальные ресурсы;
- трудовые затраты на страховые взносы и оплату труда;
- амортизация основных фондов.

Проведем расчет затрат на сварку одного стыка газопровода сварочным комплексом CRC-Evans и лазерной сваркой волоконным лазером (УЛСТ).

6.2.1 Расчет затрат на материалы

К материальным расходам относятся затраты на приобретение: сырья, основных и вспомогательных материалов, используемых в производственном процессе. В таблице 6.2 приведены затраты на сварочные материалы для двух способов сварки.

Таблица 6.2 – Расчет стоимости сварочных материалов на сварку одного стыка газопровода

	Защитный газ			Сварочная проволока			Итого, руб
	Кол-во, л	Цена, руб/л	Стоимость, руб	Кол-во, кг	Цена, руб/кг	Стоимость, руб	
Сварка комплексом CRC-Evans	1720	0,13	223,6	7,2	80	576	799,6
Лазерная сварка волоконным лазером	1204	0,13	156,5	2,4	80	192	348,5

6.2.2 Расчет затрат на амортизационные отчисления

Затраты определяются, исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Расчет амортизационных отчислений производится по формуле [32]:

$$K=1/n*100\%$$

K – норма амортизации в процентах к первоначальной стоимости объекта;

n – срок полезного использования объекта.

Расчет амортизационных отчислений при сварке одного стыка газопровода представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Расчет амортизационных отчислений при сварке одного стыка газопровода

Наименование сварочного комплекса	Стоимость руб	Норма амортизации %	Норма амортизации в год, руб	Норма амортизации в мин, руб	Время работы, мин	Сумма амортизации, руб.
CRC-Evans AW	10000000	11	1100000	2,09	40	83,6
УЛСТ	9000000	11	990000	1,88	28	52,64

6.2.3 Расчет затрат на оплату труда

К расходам на оплату труда относятся [33]:

- Суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда.

- Надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах Крайнего Севера и др.

Для осуществления сварки одного стыка магистрального газопровода необходима бригада в составе 5 человек.

Расчет заработной платы сведен в таблицы 6.4 и 6.5.

Таблица 6.4 – Расчет фонда оплаты труда при сварке одного стыка газопровода сварочным комплексом УЛСТ

Должность	Кол-во	Разряд	Часовая тарифная ставка, руб.	Норма времени на проведение мероприятия, ч.	Тарифный фонд ЗП, руб.	Сев. и рай. коэф. 50%+60 %	Заработная плата с учетом надбавок, руб.
Мастер	1	8	360	0,47	169,2	186,12	355,32
Оператор-сварщик	2	6	280	0,47	263,2	289,52	552,72
Слесарь	2	5	240	0,47	225,6	248,6	473,76
ИТОГО							1381,8

Таблица 6.5 – Расчет фонда оплаты труда при сварке одного стыка газопровода сварочным комплексом CRC-Evans AW

Должность	Кол-во	Разряд	Часовая тарифная ставка, руб.	Норма времени на проведение мероприятия, ч.	Тарифный фонд ЗП, руб.	Сев. и рай. коэф. 50%+60 %	Заработная плата с учетом надбавок, руб.
Мастер	1	8	360	0,67	241,2	265,32	506,52
Оператор-сварщик	2	6	280	0,67	187,6	412,72	787,92
Слесарь	2	5	240	0,67	321,6	353,76	675,36
ИТОГО							1969,8

6.2.4 Расчет затрат на страховые взносы

Затраты на страховые взносы в Пенсионный фонд России, Фонд социального страхования, Фонд обязательного медицинского страхования при установке текстильных контейнеров представлены в таблицах 6.6 и 6.7.

Рассчитывая затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем класс VIII с тарифом 0,9 для производства общестроительных работ по строительству прочих зданий и сооружений, не включенных в другие группировки (код по ОКВЭД – 45.21.6) [34].

Таблица 6.6 – Расчет страховых взносов при сварке одного стыка газопровода сварочным комплексом УЛСТ

Показатель	Мастер	Оператор-сварщик	Слесарь
Количество работников	1	2	2
ЗП, руб.	355,32	552,72	473,76
ФСС (2,9%)	10,3	16,03	13,74
ФОМС (5,1%)	18,12	28,19	24,16
ПФР (22%)	78,17	121,6	104,23
Страхование от несчастных. случаев (тариф 0,9%)	3,2	4,97	4,26
Всего, руб.	109,79	170,79	146,39
Общая сумма, руб.	426,97		

Таблица 6.7 – Расчет страховых взносов при сварке одного стыка газопровода сварочным комплексом CRC-Evans AW

Показатель	Мастер	Оператор-сварщик	Слесарь
Количество работников	1	2	2
ЗП, руб.	506,52	787,92	675,36
ФСС (2,9%)	14,69	22,85	19,59
ФОМС (5,1%)	25,83	40,18	34,44
ПФР (22%)	111,43	173,34	148,58
Страхование от несчастных. случаев (тариф 0,9%)	4,56	7,09	6,08
Всего, руб.	156,51	243,46	208,69
Общая сумма, руб.	608,66		

6.2.5 Расчет затрат на проведение мероприятия

По результатам вышеперечисленных расчетов затрат, рассчитана общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия (таблица 6.8)

Таблица 6.8 – Расчет затрат на сварку одного стыка газопровода

Наименование расходов	Сварка комплексом CRC-Evans	Лазерная сварка волоконным лазером
Материальные затраты, руб	799,6	348,5
Основная заработная плата, руб	1969,8	1381,8
Амортизационные отчисления, руб	83,6	52,64
Страховые взносы во внебюджетные фонды, руб	608,66	426,97
Накладные расходы (20%), руб	692,33	441,98
Итого, руб	4153,99	2651,89

6.3 Обоснование экономической эффективности проекта

На рисунке 6.1 представлено сравнение двух технологий сварки в виде гистограмм основных затрат при сварке одного стыка магистрального газопровода.

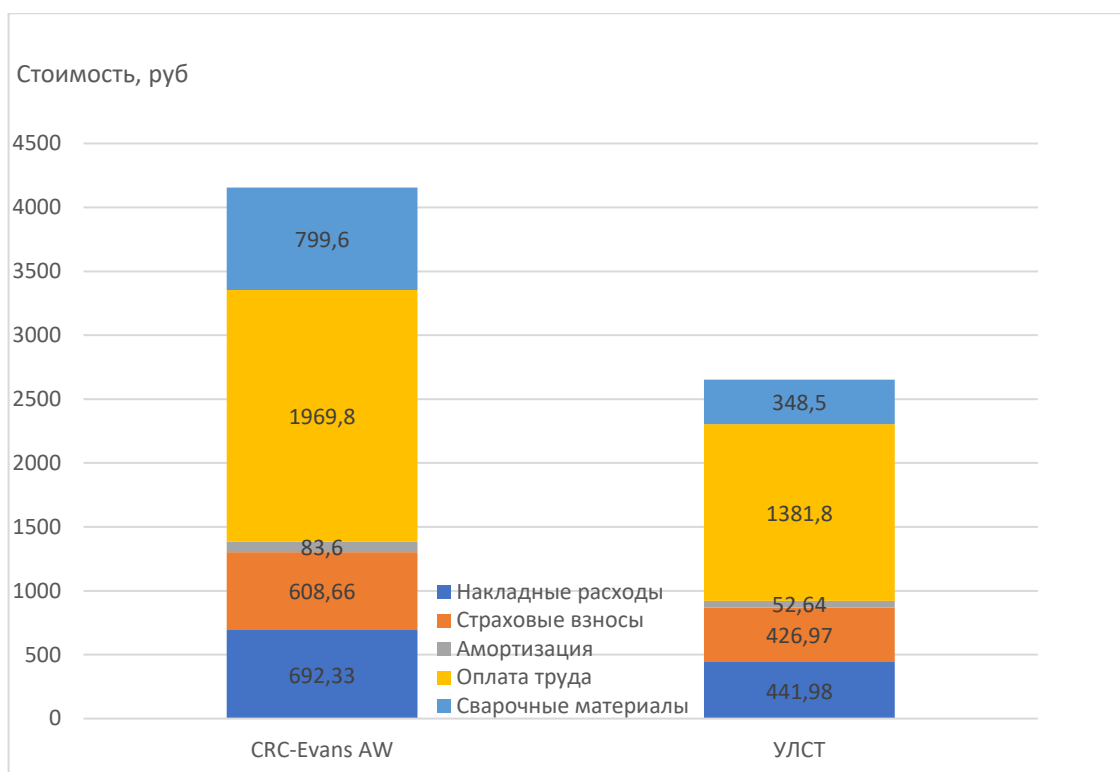


Рисунок 6.1 – Сравнение двух технологий сварки одного стыка газопровода

Основные затраты приходятся на заработную плату. Доли статей расходов в общей структуре затрат остаются постоянными не зависимо от способа сварки.

Применение лазерной сварки магистрального газопровода волоконным лазером при сварке одного стыка обойдется дешевле, чем сварка комплексом CRC-Evans. Экономия составит:

$$4153,99 - 2651,89 = 1502,1 \text{ руб.}$$

Предположим, что во время ремонта протяженного участка газопровода, потребовалась его полная замена и необходимо выполнить сварку 1000 метров труб. Согласно ГОСТ 10704-91 длина одной трубы диаметром 1420 мм составляет 12 м. Тогда количество сварных стыков будет:

$$\frac{1000}{12} = 83,3 \approx 83 \text{ стыка.}$$

Экономия в этом случае составит:

$$1502,1 \times 83 = 124674,3 \text{ руб.}$$

7 Социальная ответственность

Введение

Применение лазерной сварки при строительстве и ремонте магистральных газопроводов позволяет добиться ряда преимуществ по сравнению с традиционными технологиями сварки.

В данной работе оценена возможность применения лазерной сварки в качестве альтернативы дуговой сварке при проведении строительных и ремонтно-восстановительных работ для снижения эксплуатационных рисков, возникающих на магистральных газопроводах.

Внедрение данной технологии повысит общую надежность сварных соединений магистральных газопроводов, а также производительность выполнения работ по строительству и ремонту данных объектов.

Магистральные газопроводы строятся в различных климатических зонах в том числе и на Крайнем Севере. Основным рабочим местом при производстве работ является открытый воздух. Работы производятся в дневное время суток.

В разделе приведен анализ технологического процесса сварки с точки зрения наличия или возможного появления опасных и вредных факторов, а также воздействия их на рабочих. Разработаны мероприятия по технике безопасности, экологической безопасности и чрезвычайным ситуациям, направленные на снижение или устранение опасных факторов.

					<i>Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Ерохин А.А.			Социальная ответственность	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Антропова Н.А.					62	94
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 25М81		
<i>Рук-ль ООП</i>		Шадрина А.В.						

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Строительство и ремонт магистральных газопроводов с использованием лазерной сварки относится к вредным условиям труда. Согласно ТК РФ [35] людям, работающим в условиях вредного и опасного воздействия, полагаются гарантии и компенсации, в их числе:

- уменьшенное количество рабочих часов (36 часов в неделю);
- надбавка к заработной плате, не менее 4% от оклада;
- дополнительный оплачиваемый отпуск (не менее 7 календарных дней);
- досрочный выход на пенсию;
- получение спецодежды и других расходных материалов;
- услуги лечения и оздоровления.

Работники, которые трудятся в условиях Крайнего Севера, имеют дополнительные льготы в соответствии с законом [36]. Оплата труда в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях осуществляется с применением районных коэффициентов и процентных надбавок к заработной плате, а также для работников установлены ежегодные дополнительные оплачиваемые отпуска [35].

Кроме того, организации обязаны следить за негативным влиянием их деятельности на окружающую среду, и защищать население от чрезвычайных ситуаций [37].

Требования касающиеся компоновки рабочей зоны указаны в ГОСТ 12.3.003-86 [38].

При выполнении сварочных работ в одном помещении с другими работами должны быть приняты меры, исключаящие возможность воздействия опасных и вредных производственных факторов на работающих. Например, при выполнении сварки на разных уровнях по вертикали должна быть предусмотрена защита персонала, работающего на ниже расположенных

					Социальная ответственность	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

уровнях, от случайного падения предметов, огарков электродов, брызг металла и др.

Зоны с наличием опасного производственного фактора следует ограждать. Рабочие места сварщиков на два поста и более, должны быть разделены ограждающими ширмами, защищающими сварщиков от излучения дуги, брызг расплавленного металла, и обеспечивать достаточное пространство для каждого работающего.

Рабочие места, расположенные выше 1,3 м от уровня земли или сплошного перекрытия, должны быть оборудованы ограждениями высотой не менее 1,1 м, состоящими из поручня, одного промежуточного элемента и бортовой доски шириной не менее 0,15 м.

Ширина проходов между оборудованием, движущимися механизмами и перемещаемыми деталями, а также стационарными многопостовыми источниками питания, должна быть не менее 1,5 м. Проходы между стационарными однопостовыми источниками питания должны быть шириной не менее 0,8 м. При установке однопостового источника питания у стены расстояние от стены до источника должно быть не менее 0,5 м.

7.2 Производственная безопасность

Перечень опасных и вредных факторов, образующихся при строительстве и ремонте магистральных газопроводов с использованием лазерной сварки представлен в таблице 7.1.

					Социальная ответственность	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 7.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу атация	
Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	-	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [39]
Пониженная температура воздуха рабочей зоны	-	-	+	О работе на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях в холодное время года: Постановление администрации Томской области от 11 февраля 2011 года № 29а [41]
Повышенный уровень шума на рабочем месте	-	+	+	ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности [42]
Повышенная яркость света, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение	-	+	+	ГОСТ 12.4.254-2013 Средства индивидуальной защиты глаз и лица при сварке и аналогичных процессах. Общие технические условия [44]
Подвижные части производственного оборудования	-	+	+	ГОСТ 12.4.011-89 Средства защиты работающих. Общие требования и классификация [40]
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [45]

7.2.1 Анализ выявленных опасных и вредных факторов и мероприятия по их устранению

7.2.1.1 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

При сварке в зону дыхания рабочих могут поступать сварочные аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы окислы различных металлов (марганца, хрома, никеля, меди, алюминия, железа), их окислы и другие

					Социальная ответственность	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

соединения, а также газы (окись углерода, озон, фтористый водород, окислы азота). Количество и состав сварочных аэрозолей, их токсичность зависят от химического состава сварочных и свариваемых металлов.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ, встречающихся в воздухе рабочей зоны при производстве сварочных работ по ГОСТ 12.1.005-88 [39] представлены в таблице 7.2

Таблица 7.2 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ

Вредные вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Азота оксиды (в пересчете на NO ₂)	5	2	П
Алюминий и его сплавы, оксид алюминия (в том числе, с примесью диоксида кремния) в виде аэрозоля конденсации	2	4	А
Железа оксид с примесью оксидов марганца (до 3 %), легированные стали и их смеси с алмазом до 5 %	6	4	А
Железа оксид с примесью оксидов фтористых или 3...6 % марганцовых соединений	4	4	А
Марганец (до 20 % в сварочном аэрозоле)	0,2	2	А
Никель, оксид никеля	0,05	1	А
Озон	0,1	1	П
Углерода оксид	20	4	П
Фтористый водород	0,5/0,1	2	П

К средствам защиты органов дыхания относятся противогазы, полумаски, респираторы. Применяемые средства индивидуальной защиты должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.011-89 [40].

7.2.1.2 Пониженная температура воздуха рабочей зоны

Зимой температура окружающего воздуха в районе производства работ может опускаться до минус 60°C.

Глубокое местное переохлаждение может закончиться обморожением частей тела с нарушениями тканей, включая и костную.

В таблице 7.3 представлены условия, при которых запрещаются работы на открытом воздухе [41].

Таблица 7.3 – Условия, при которых запрещаются работы на открытом воздухе

Скорость ветра, м/с	Температура, °С
При безветренной погоде	Минус 36
Не более 5	Минус 35
5 – 10	Минус 34
10 – 15	Минус 32

Чтобы избежать переохлаждений и обморожений сварщики, работающие на открытой территории в зимний период года, должны быть обеспечены спецодеждой с теплозащитными свойствами. При температуре окружающего воздуха ниже минус 10 °С необходимо иметь вблизи рабочего места сварщика инвентарное помещение для обогрева, при температуре ниже минус 36 °С – оборудовать тепляк.

7.2.1.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум может создаваться работающим оборудованием. Например, шлифмашинкой. Действие шума затрудняет разборчивость речи, вызывает необратимые процессы изменения органа слуха у человека, повышает утомляемость.

Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах по ГОСТ 12.1.003-83 [42] представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ А
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

При превышении предельно допустимых норм шума работники должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты органов слуха: противошумными наушниками, шлемами или противошумными вкладышами. Типы и группы СИЗ органов слуха следует выбирать в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.051-87 [43].

7.2.1.4 Повышенная яркость света, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение

Сварка сопровождается выделением мощной лучистой и тепловой энергии. Яркость излучения превышает 1600 стильб. Нормальное зрение человека способно воспринимать безболезненно яркость не более одного стильба. На незащищенных частях тела лучистая и тепловая энергия вызывает покраснение и ожоги различной степени, в зависимости от расстояния до источника излучения.

Интенсивность теплового излучения в оптическом диапазоне (ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное) на постоянных рабочих местах не должна превышать допустимых величин, приведенных в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Предельно допустимая концентрация интенсивности излучения в оптическом диапазоне на постоянных рабочих местах

Области спектра	Длина волны, мкм	ПДК Вт/м ²
Ультрафиолетовое	0,22 – 0,28	0,001
	0,28 – 0,32	0,05
	0,30 – 0,4	10
Инфракрасное	0,76 – 1,4	100
	1,4 – 3	120
	3 – 5	150

Для защиты лица сварщика во время выполнения сварочных операций закрывается щитком, в смотровое отверстие которого вставлен светофильтр по ГОСТ 12.4.254-2013 [44]. Для защиты зрения окружающих должны применяться переносные щиты и ширмы. Защита рабочих от инфракрасного

излучения может быть обеспечена сокращением времени пребывания в зоне воздействия теплового излучения.

7.2.1.5 Подвижные части производственного оборудования

На данном рабочем месте производится механическая обработка сварного шва с применением угловой шлифовальной машины, абразивный круг которой вращается со скоростью 7000 об/мин в больших диапазонах нагрузок. Соприкосновение с движущимися частями оборудования может привести к перелому конечностей, ушибам, порезам.

Для обеспечения коллективной защиты следует использовать оградительные устройства и знаки безопасности. К средствам индивидуальной защиты относятся спец. одежда и защитные очки, маски [40].

7.2.1.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Опасность поражения электрическим током создают источники сварочного тока и электроинструмент.

По ГОСТ 12.1.038-82 [45] напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, В	I, мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц не должны превышать значений, указанных в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц [45].

Продолжительность действия t, с	Нормируемая величина		Продолжительность действия t, с	Нормируемая величина	
	U, В	I, мА		U, В	I, мА
От 0,01 до 0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	200	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	Свыше 1,0	12	2

Все металлические корпуса сварочных аппаратов должны быть надежно заземлены. Электрическая проводка должна обязательно иметь неповрежденную изоляцию. Розетки и вилки должны быть исправными. Около розеток обязательно должна быть надпись о величине напряжения.

7.3 Экологическая безопасность

7.3.1 Защита селитебной зоны

Место строительства и ремонта магистральных газопроводов с использованием лазерной сварки, в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 [12], необходимо рассматривать, как производство стальных конструкций. Согласно этому документу, данное производство II класса опасности с санитарно – защитной зоной 500 м.

Расположение будущего газопровода выбирают во время проектирования с учетом рекомендуемых минимальных размеров санитарных разрывов. Для магистральных газопроводов диаметром 1420 мм размер

разрыва до населенных пунктов, дачных поселков, отдельных общественных зданий с массовым скоплением людей составляет 350 м [46].

7.3.2 Защита атмосферы

При выполнении сварочных работ атмосферный воздух загрязняется сварочным аэрозолем. Для очистки выбросов в атмосферу, достаточно производить улавливание аэрозолей и газообразных примесей из загрязнённого воздуха. Установка для улавливания аэрозолей и пыли предусмотрена в системе вентиляции инвентарных сварочных укрытий. Для этого используют масляные фильтры. Большое значение для защиты атмосферы имеет надежная герметизация оборудования, в котором находятся вредные вещества.

7.3.3 Защита гидросферы

Основными загрязнителями сточных вод являются частицы пыли, металлические и абразивные частицы. Очистка сточных вод от твёрдых частиц осуществляется методами процеживания, отстаивания, отделения твёрдых частиц в поле действия центробежных сил и фильтрования.

7.3.4 Защита литосферы

При сварочных работах образуются следующие отходы: сварочный шлак, огарки сварочных электродов, продукты разложения карбида кальция. На участке сварки должны быть предусмотрены емкости для складирования металлических отходов, а также емкости для мусора. Все металлические отходы транспортируются на переработку, а весь мусор вывозится в специально отведенные места и уничтожается.

					Социальная ответственность	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7.4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

На месте проведения работ по сварке магистрального газопровода могут возникнуть чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера.

К чрезвычайным ситуациям техногенного характера при строительстве и ремонте магистральных газопроводов относятся пожар на рабочем месте, а также взрыв баллонов со сварочной смесью газов.

В зависимости от территории строительства возможны чрезвычайные ситуации природного характера, такие как землетрясения, оползни, извержения вулканов, ураганы и другие стихийные бедствия.

Одним из наиболее вероятных видов ЧС при сварочных работах является пожар на рабочем месте.

Источниками пожара при проведении сварочных работ являются: открытый огонь (пламя газовой горелки и резки); искры и частицы расплавленного металла; повышенная температура изделий, которые подвергаются сварке.

Все цеха, участки и рабочие места сварщиков должны быть обеспечены противопожарным инвентарем. Для ликвидации очага загорания в электропроводке, электрических машинах и трансформаторах применяют углекислотные огнетушители, предварительно обесточив эти очаги. В случае возникновения пожара надо немедленно принять меры к его ликвидации имеющимися средствами и при необходимости вызвать пожарную команду.

Сварочные работы разрешается производить на расстоянии не менее 5 метров от горючих материалов и не ближе 10 метров от емкостей с легковоспламеняющимися жидкостями.

					Социальная ответственность	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Заключение

В работе были рассмотрены технические возможности лазерной сварки при строительстве и ремонте магистральных газопроводов, а также влияние данной технологии на снижение эксплуатационных рисков.

Так же были построены модели напряженно-деформированного состояния участков магистрального газопровода со сварным швом, выполненным сварочным комплексом CRC-Evans и автоматической лазерной сваркой волоконным лазером.

По результатам моделирования видно, что напряжения в сварных соединениях, полученных методом лазерной сварки меньше, чем при автоматической дуговой сварке. При растяжении – на 8,9%; при сжатии – на 7,5%.

По результатам расчета видно, что использование технологии лазерной сварки позволяет сократить объем наплавки и число проходов и соответственно экономить расходные материалы приблизительно на 66%. Также данная технология производительнее на 43% по сравнению с самой передовой автоматической дуговой сваркой на сегодняшний момент.

Переход к новому методу сварки магистральных газопроводов перспективен и позволяет снизить затраты и количество времени на строительство газопровода.

Также был проведен анализ факторов, оказывающих влияние на здоровье персонала, обслуживающего газораспределительные станции. Рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

					Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Ерохин А.А.			Заключение	Лит.	Лист	Листов	
Рцковод.		Антропова Н.А.					73	94	
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ81			
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.							

Проведен анализ воздействия на окружающую среду, а именно на атмосферу, гидросферу и литосферу. Приведены примеры источников загрязнения, даны рекомендации. Проанализированы возможные чрезвычайные ситуации, приведены рекомендации по действиям персонала и обустройству рабочей зоны для снижения риска возникновения ЧС.

Проанализировав результаты моделирования и расчетов, можно с уверенностью сказать, что использование технологии лазерной сварки при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов выгодно не только с точки зрения надежности сварного соединения, но и экономически.

					Заключение	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список литературы

1. Ю.И. Пашков, М.А. Иванов, Р.Г. Губайдулин Остаточные сварочные напряжения и пути снижения стресс-коррозионных разрушений магистральных газопроводов Вестник ЮУрГУ, № 15, 2012 с 28-30
2. Винокуров В.А., Григорьянц А.Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
3. Антонов А.А. Исследование полей остаточных напряжений в сварных конструкциях / Сварочное производство. – 2013. – № 12. – С. 13–17.
4. Антонов А.А., Летуновский А.П. Снижение остаточных сварочных напряжений методом ультразвуковой ударной обработки / Трубопроводный транспорт (теория и практика). – 2012. – № 2 (30). – С. 21–26.
5. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформация конструкций Издательство: Высш. Школа, 1982, 272 с
6. Биргер И.А. Остаточные напряжения Издательство: МАШГИЗ, 1963, 232 с
7. Мустафин Ф.М. Сварка трубопроводов: Учеб. пособие — М.: Недра Бизнес-центр, 2002.— 350 с.
8. Автомат для сварки плавящимся электродом в среде защитного газа CRC-Evans P700: [Электронный ресурс] – Режим доступа к стр.: <http://www.oooaps.ru/catalog/avtomat-dlya-svarki-plavyashchimsya-elektrodom-v-srede-zashchitnogo-gaza-crc-evans-p700> (дата обращения: 30.03.2020 г.).

					<i>Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ерохин А.А.			Список литературы		Лит.
Руковод.		Антропова Н.А.					Лист
Консульт.							Листов
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.					75
					НИ ТПУ гр. 2БМ81		

9. Лопота А.В. Перспективы применения лазерных технологий в трубопроводном строительстве / Трубопроводный транспорт (теория и практика) № 1 (13) 2009 стр 50-53
10. L. Quintino, A. Costa, R. Miranda, D. Yapp, V. Kumar, C.J. Kong Welding with high power fiber lasers – A preliminary study Materials and Design 28 (2007) стр 1231–1237
11. Н. В. Грезев, Е. М. Шамо́в, Сварка волоконными лазерами Ритм машиностроения: [Электронный ресурс] – Режим доступа к стр.: <https://ritm-magazine.ru/en/node/1638> (дата обращения: 29.04.2020 г.).
12. D. Belforte Fiber lasers continue growth streak in 2014 laser market/Industrial laser solution. — 2015. — № 1. — С. 5 – 13.
13. Gapontsev V. 2 kW CW ytterbium fiber laser with record diffraction-limited brightness//Lasers and Electro-Optics Europe, 2005. CLEO/Europe. 2005 Conference on. — IEEE, 2005. — С. 508.
14. Gapontsev V. P. 100-kW ytterbium fiber laser//Optoelectronics' 99-Integrated Optoelectronic Devices. — International Society for Optics and Photonics, 1999. — С. 49–54.
15. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. — М.: Изд-во МГТУ им. НЭ Баумана, 2008.
16. Seffer O. Laser-GMA hybrid welding of API 5L X70 with 23 mm plate thickness using 16 kW disk laser and two GMA welding power sources//Journal of Laser Applications. — 2014. — Т. 26. — №. 4.
17. Zhang X. et al. Welding of thick stainless steel plates up to 50 mm with high brightness lasers//Journal of Laser Applications. — 2011. — Т. 23. — №. 2
18. Longfield N. et al. Improving laser welding efficiency//WELDING JOURNAL-NEW YORK-. — 2007. — Т. 86. — №. 5. — С. 52.
19. Hayashi T. Reduction mechanism of porosity in tandem twispot laser welding of stainless steel//Welding international. — 2003. — Т. 17. — №. 1. — С. 12–19.

					Список литературы	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

20. Grigor'yants A. G. et al. Efficiency of the process of two-beam deep penetration laser welding//Welding International. — 2011. — Т. 25. — №. 03. — С. 188–195.
21. Hamasaki M. Welding method combining laser welding and MIG welding: пат. 4507540 США. — 1985.
22. Lahdo R. et al. GMA-laser Hybrid Welding of High-strength Finegrain Structural Steel with an Inductive Preheating//Physics Procedia.— 2014. — Т. 56. — С. 637–645.
23. Siewert A., Krastel K. Fiber Laser Seam Stepper Replacing Resistance Spot-Welding//Laser Technik Journal. — 2014. — Т. 11. — №. 4. — С. 52–55.
24. Zhao L. Prevention of porosity by oxygen addition in fibre laser and fibre laser-GMA hybrid welding/Science and Technology of Welding and Joining. — 2014. — Т. 19. — №. 2. — С. 91–97.
25. А.Б. Ушаков, О.П. Морозова, И.А. Бегунов, Е.М. Шамов, А.А. Орешкин, Е.М. Вышемирский Технология лазерной сварки магистральных трубопроводов ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ Спецвыпуск № 2 (754) 2017 стр 100-107
26. Гюок С., Гюменюк А., Ламмерс М., Ретмайер М. Особенности процесса орбитальной лазерно-дуговой сварки толстостенных труб большого диаметра // Автоматическая сварка. 2010. № 9. С. 5–13.
27. Чубуков И.А. Разработка способа лазерной сварки конструкционных сталей в щелевую разделку с подачей присадочной проволоки.: дисс. канд. техн. наук. М., 1989. 186 с.
28. СТО Газпром 2-2.2-136–2007. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. Часть I [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/54/54452/> (дата обращения: 15.05.2017).
29. «Технических требований к сварке и неразрушающему контролю качества сварных соединений при строительстве магистрального газопровода

					Список литературы	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

«Сила Сибири», в том числе при пересечении зон активных тектонических разломов»

30. Шамов Е.М., Бегунов И.А., Васильев А.А., Шелестова А.К., Иванисов Д.В., Орешкин А.А., Мишин М.А. Лазерная сварка толстостенных стальных труб в потолочном положении // Сварочное производство. – 2018. – № 8. – С.16-22.

31. Ефименко Л.А., Капустин О.Е., Уткин И.Ю., Деркач А.П., Шамов Е.М., Бегунов И.А., Горский А.И. Особенности формирования структуры и механических свойств при лазерной сварке неповоротных стыков труб // Сварочное производство – 2018. – № 10. – С. 18-24.

32. Методические указания для выполнения раздела выпускной квалификационной работы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: методические указания / Г.Ю. Боярко, О.В. Пожарницкая., В.Б. Романюк, А.А., Вазим, и др.,; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – 166 с.

33. Постановление Совмина СССР от 22.10.1990 N 1072 «О единых нормах амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР»

34. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент

35. Трудовой кодекс Российской Федерации

36. Закон РФ от 19.02.1993 N 4520-1 О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях

37. Федеральный закон РФ от 21.12.1994 N 68-ФЗ О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

38. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности – М.: ИПК Изд-во ст., 2003

					Список литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

39. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ, 2008.

40. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – М.: ИПК Изд-во ст., 2001

41. О работе на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях в холодное время года: Постановление администрации Томской области от 11 февраля 2011 года № 29а

42. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности – М.: ИПК Изд-во ст., 2002

43. ГОСТ 12.4.051-87 (СТ СЭВ 5803-86) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний – М.: Изд-во ст., 1988

44. ГОСТ 12.4.254-2013. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты глаз и лица при сварке и аналогичных процессах. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2013

45. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001

46. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов

					Список литературы	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение А
(справочное)

Pipelines welding impact on operational risks

					Разработка мероприятий по снижению эксплуатационных рисков на магистральных газопроводах при проведении ремонтно-восстановительных работ с использованием лазерной сварки								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата									
Разраб.		Ерохин А.А.			Приложение А				Лит.		Лист	Листов	
Рцковод.		Антропова Н.А.									80	94	
Консульт.									НИ ТПУ гр. 2БМ81				
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.											

1.1 The main causes of the main gas pipelines destruction

Every year, during the operation of main gas pipelines in Russia, there are more than 100 accidents that cause material losses and damage to the environment. Over the past decade, more than 40 percent of reported failures have been caused by stress corrosion cracking of metal. The main part of the destruction of main gas pipelines occurred in the area of the welded joints. Based on this, it can be concluded that currently the main operational risk is the destruction of the gas pipeline due to stress corrosion cracking [1].

The high concentration of pipe metal destruction in the weld zone is due to the presence of residual welding stresses, which, in addition, can be imposed on the operating stresses of the gas pipeline, accelerating the origin of cracks [2, 3, 4].

The formation of residual stresses is influenced by factors that affect the flow of phase and structural transformations during the crystallization of steel. In particular, changes in the volume of metal during melting and crystallization cause their own or internal deformations and stresses during welding. They exist in the area of the welded joint without applying external loads [5]. If the intrinsic stresses are higher than the yield strength of the metal, then residual stresses are formed [6].

The amount of residual welding stress directly depends on the size of the zone of thermal influence. This allows concluding that the correct choice of welding technology for the main gas pipeline during construction and repair can reduce the zone of thermal influence, residual stresses and ultimately operational risks.

1.2 Automatic welding of main gas pipelines

Automatic welding is a method of welding in which the main technological processes are performed automatically. This includes controlling the heating source for melting, feeding the melting electrode (welding wire), and moving the welding machine itself along the edges to be welded. All these processes are carried out by mechanisms (automatic welding heads), including a given computer program. The

					Приложение А	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

welder-operator controls the process visually and can adjust the process parameters based on the speed of the welding wire feed and the movement of the automatic head along the welded pipe connection.

1.2.1 Automatic double-sided welding with solid wire in protective gases using the CRC-Evans welding system

Today, the CRC-Evans AW system is one of the most productive automatic welding systems for non-rotating joints of main gas pipelines. This technology implements the process of double-sided welding of pipes with a diameter of 630-1420 mm with a solid-section electrode wire in the environment of protective gases.

CRC-Evans uses a specially designed narrow cutting of the edges of welded pipes, which requires less weld metal to fill. In addition, its geometry eliminates the need for a gap during assembly, as opposed to standard edges. Welding of the root of the seam is carried out from the inside with a multi-head welding machine. The hot pass is performed by external welding heads almost simultaneously with the welding of the seam root. The combination of these factors increases the speed and quality of welding [7].

1.2.1.1 Equipment for the CRC-Evans AW welding complex

The CRC-Evans AW complex consists of the following equipment [8]:

- edging machine;
- installation for welding from inside the pipe, which combines the functions of a self-propelled internal centralizer, a propane burner for heating the joint and a multi-head welding machine;
 - welding heads for outdoor welding;
 - installation of power supply for welding stations;
 - protective shelter;
 - auxiliary equipment.

					Приложение А	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2.1.2 Welding head P700

The P700 welding head is the most effective development of the CRC-Evans company. It uses two welding arcs instead of one, which allows you to significantly increase the welding speed. Also, unlike the heads of previous generations, it allows you to weld all the seam layers: the hot pass, filling and finish layers. Previously, a separate head was required to perform a hot pass.

The P700 automatic welding torches have a built-in water cooling system, and two pulse inverters are used as welding current sources. Welding torches can be controlled separately or both at the same time; any burner can act as both a master and a slave in order to optimize control and improve the quality of welding.

The performance advantages of dual-burner heads are that they provide a degree of surfacing approximately 60 to 70% higher than single-arc heads. The first burner makes a seam of the usual thickness for the filling passage, and the second passage fills the seam by 60-70% of the usual thickness, thus reducing the total number of passes [7, 8].

Today, automatic arc welding is at its peak performance. The P700 welding head has one of the latest ways to increase welding speed – increased electrode reach. Welding is performed with an electrode wire with a diameter of 1.2 mm when the electrode reaches 25 mm. For this purpose, this machine has a system for tracking the seam axis, which coordinates the received data with instantaneous values of welding current parameters [7, 8].

1.2.2 Automatic fiber laser welding

The principle of operation of laser welding is that the laser radiation is directed to the focus, where it creates a beam that falls on the parts being welded. The beam gets inside the metal, is absorbed by it, heats the metal, resulting in melting and a welding seam.

					Приложение А	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

With the advent of fiber lasers, laser welding technology has received a second wind. Those areas where its application was difficult and seemed impossible became available. Table 1.1 shows a comparison of the main types of lasers used for welding [9, 10].

Table 1.1 Lasers used for welding

	Fiber laser	Nd:YAG laser	CO ₂ laser	Disk laser
Efficiency, %	30	5	10	15
Output power, kW	up to 50	up to 6	up to 20	up to 4
Warranty period, hour	100000	10000	10000	10000

1.2.2.1 Classification of techniques and methods of laser welding with fiber lasers

Over the past 10 years, laser welding technology has developed significantly and has been supplemented with technological techniques and methods. Thus, the following classification is possible [11]:

- 1) according to the shape (geometry) of the resulting weld;
- 2) by the number of passes;
- 3) by the type of a focal spot;
- 4) by the type of additive material;
- 5) by the presence of additional heating sources;
- 6) by the type of welds;
- 7) the type of the optical welding head;
- 8) according to the type of weld protection.

1) Classification according to the penetration form

Three types of laser welds can be distinguished by their shape: deep, medium, and wide [12]. The penetration coefficient K is the ratio of the depth of the weld b to the width a . For deep-penetration welds, it is more than 2, for medium-sized welds it is in the range from 1 to 2, and for wide welds it is equal to or less than 1 (figure 1.1).

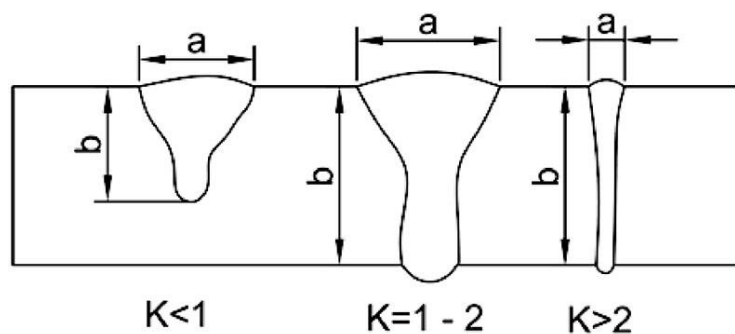


Fig. 1.1 Types of welded joints by laser welding

Obtaining a seam with deep penetration is possible due to the phenomenon of a vapor-gas channel that occurs in a liquid bath of the melt. Such welds are usually performed at speeds of 1 m / min, the focus is closer to the surface of the parts being welded or slightly sunk [12].

As a result of obtaining the maximum power density on the surface of the product, the weld acquires a deep penetration.

Laser welding technology with the formation of deep penetration can be used to ensure the Assembly without a gap between the edges to be welded. Such strict requirements can only be met if the workpieces have smooth edges and precise geometry. The presence of even a minimal gap between the edges to be welded (0.1-0.2 mm) will introduce defects of the weld [13].

To reduce the requirements for the assembly of welded edges, technological modes have been developed, for which it is typical to obtain wider welds. One of the easiest ways to do this is to focus welding. In this case, the required depth of penetration is regulated by the welding speed and laser power. The phenomenon of a steam-gas channel in this mode remains, but the width of the seam increases. Such welds reduce the requirements for the size of the gap between the edges and make up on average up to 10 % of the thickness of the material being welded. Increasing the diameter of the spot on the surface and the volume of the liquid bath of the melt allows welding with the supply of filler wire, the requirements for the size of the gap are reduced to 15-20 % of the thickness of the material [11].

Another way to increase the width is to use various specialized focal spots. To obtain the widest possible weld, the welding speed is further reduced, and the spot

diameter on the surface is increased by defocusing while increasing the power of the laser radiation. For such seams, the depth of penetration may be less than the width of the seam [12].

2) Classification by a number of passes

Laser welding is usually performed in a single pass with high speeds of the process, and this is undoubtedly considered its advantage. This technology is used for welding, for example, steels up to 10 mm thick without any technological problems. An increase in the thickness of the products to be welded (over 12 mm) leads to an increase in the probability of defects in the weld, such as dips, undercuts, pores, cavities, and cracks [13].

The causes of defects are as follows: as the thickness of the products to be welded increases, the power of laser radiation increases proportionally, in order to ensure through penetration, the welding speed decreases, as a result of which the volume of the liquid melt bath becomes larger and the processes occurring in it become less manageable.

Thus, when a certain volume of liquid metal is reached, the surface tension forces can no longer hold the melt bath and the liquid metal flows out in drops from below, forming a lack of weld material from above [11]. It should also be noted that single-pass welding of large thicknesses leads to the formation of midline cracks (cavities), regardless of the material's tendency to crack due to thermal shrinkage of the material and high cooling rates.

For such cases, technologists develop special methods of laser welding with the use of additional technological techniques and methods: in a horizontal position, on a copper lining, with a blow-up of the steam-gas channel, with the preliminary introduction of compensating stresses in the structure. Another such method is two-pass welding on both sides. In the first pass, the main seam is formed by the qualitative formation of the seam root, in the second pass, the top of the seam is formed. The welding speed is still high, so performing the second pass does not significantly reduce productivity.

					Приложение А	Лист
						86
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

When increasing the thickness of the products to be welded over 20 mm, the technology of multi-pass laser welding in a narrow cutting can be used [14]. This welding technology has been actively studied in recent years and is being applied in various industries. The advantages of the technology in relation to arc welding of large thicknesses in a wide cutting are as follows: increased productivity by 5-8 times, reduced milling volume by 10 times, reduced residual stress and deformation by 3 times [15], reduced thermal influence zone, savings of additive material and electricity. Advantages in relation to single-pass laser welding are as follows: no high power of laser radiation is required, the probability of defects, especially in the form of cracks, is reduced, and the stability of the process is increased.

3) Classification by the type of a focal spot

Laser welding technology is usually performed using a single laser beam that is focused to the desired spot diameter using a convex lens mounted in the optical welding head. In the case of fiber lasers, a collimating lens is used to collect the diverging laser radiation in a parallel beam. This scheme is used in most laser welding machines, and it forms a circular focal spot that is suitable for most tasks.

However, in some cases, specialized focusing systems can also be used to solve specific technological problems. Thus, to reduce the requirements for gaps, scanning systems can be used that allow oscillating the laser beam near the radiation propagation axis [16]. The key parameters in setting the vibrations are the amplitude, frequency, and phase of the vibrations (figure 1.2).

					Приложение А	Лист
						87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

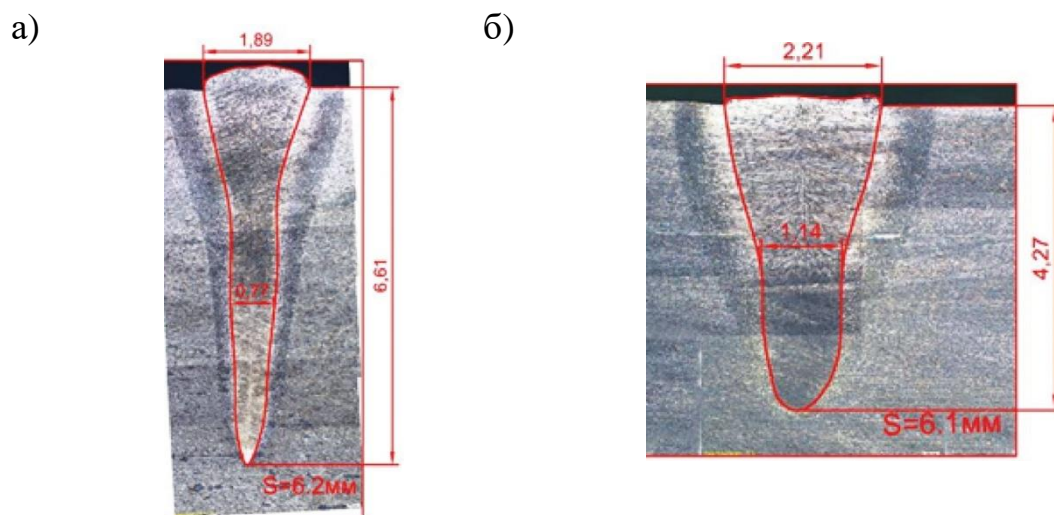


Fig. 1.2 Effect of circular scanning on the weld geometry: a) without scanning; b) with circular scanning

In addition to scanning, systems have been developed for splitting laser radiation. Double focal spots are used both to reduce clearance requirements by increasing the width of the weld [15], and to stabilize processes in the steam and gas channel and reduce the number of pores [16]. In the first case, the focal spots are located transversely to the weld, in the second case linearly along the weld. In addition to specialized optical systems, two or more lasers are used, the radiation of which is focused on the surface of the products being welded according to different schemes.

Two-beam laser welding is a more flexible tool in contrast to laser beam splitting systems. The mutual arrangement of focal spots and laser radiation feed angles allows to regulate various processes occurring in the vapor-gas channel, liquid melt bath during welding and control the speed of crystallization and cooling of the weld [15].

4) Classification by the additive material application

The filler material in the form of wire in laser welding can be used in the formation of medium-width welds. The filler wire is usually fed to the front of the liquid melt bath in either a cold or hot state. The wire is heated by resistive heating and is regulated by the amount of current flowing in the wire. The addition of an additive material makes it possible to form a reinforcement from the front surface of

the joint, as well as to perform alloying of the seam metal [17]. Another way to implement the additive is possible with the help of thin plates (spacers) of a certain material, which are fixed between the edges to be welded during the preparation of the joint for welding. The method is preferred when joining difficult-to-weld steels and dissimilar materials. Depending on the thickness of the insert (up to 1 mm), it is possible to form a completely different composition of the weld seam, consisting of a mixture of basic and additive materials.

It should be noted that laser welding can be performed with an additive material in the form of a powder. This method can be used to eliminate floating gaps between the edges to be welded, when the powder is pre-filled into the existing gap. The size of the gap in this case can be 1.5-2 mm. The powder can also be used for alloying the weld [13].

5) Classification by the presence of additional heating sources

Starting from the 80's, the laser heating source was used simultaneously with the arc source, calling the technology a combined laser welding method and an arc melting electrode [18]. Now this technology has become quite popular and is called hybrid laser welding technology.

Hybridization of the process can be both with the arc process, plasma and other heat sources. If the two sources are close enough to each other, then the two energy sources are combined in one liquid bath of the melt and a synergistic effect occurs, i.e., an increase in the depth of penetration. If two sources are separated by a certain distance, then there is no synergistic effect, that is, the process becomes combined. In this case, adding a second heat source has other specific functions. For example, the presence of an arc source that goes ahead of the laser radiation allows preheating the product and increasing the absorption capacity of the material [19]. If the arc source is behind the laser radiation, the arc process affects the cooling temperature of the liquid metal, making it thermally softer, as a result, laser welding can be used for difficult-to-weld materials, and the arc process can also be used to eliminate geometric defects at the top of the weld.

					Приложение А	Лист
						89
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

It is also possible to add plasma, light spot, induction heating. The latter allows preheating of the edges to be welded, which allows welding of hard-to-weld steels with an increased carbon equivalent [12].

6) Classification by the welds type

It is known that laser welding can perform various types of welded joints: butt, lap, corner, t-bar, and so on. However, in addition to the standard classification, laser welds can also be classified by the type of welds: continuous, point and short-seam. Powerful fiber lasers of continuous operation is usually performed by continuous longitudinal seams. Such welds are most often used for welding critical welded structures to ensure tightness.

Spot laser welding is used for welding less critical structures. this technology is used for welding with pulsed solid-state lasers.

Short-seam laser welding is used for welding thin-sheet material in the automotive industry.

7) Classification by the type of optical welding heads.

Welding heads are usually distinguished by the type of optical elements: pass-through and mirror type. But for the laser welding technology itself, the parameters of the optical system and the focal lengths of the collimating and focusing lenses are of great importance, which are selected specifically for the welding process to solve a particular problem [20].

Thus, depending on the main parameter of the optical system — the focal length of the focusing lens, three types of welding heads can be distinguished: short-focus, medium-focus and long-focus [21]. Short-focus systems include systems with a focal length of up to 200 mm. To medium-focus — from 200-600 mm. For long-focus - from 600 mm and higher.

8) Classification by the type of the weld protection from the environment

Normally laser welding with fiber lasers is carried out in the environment of argon protective gas, as the cheapest inert gas. The wavelength of fiber lasers 1065-1085 nm is not absorbed by argon. However, near-surface plasma is still present, because during welding, argon is mixed with metal vapors and ionization occurs.

					Приложение А	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

When the power of laser radiation increases (over 5 kW), the surface plasma increases, and the transparent plasma for fiber laser radiation decreases due to the presence of various impurities, which makes visible distortions in the laser radiation focusing process [22].

Various mixtures of inert gases can be used to suppress the plasma and increase the stability of laser welding. The addition of helium reduces the size of the surface plasma, reduces its temperature, and increases the transparency for laser radiation, thereby increasing the stability of the welding process.

To solve highly specialized tasks, for example, to increase the depth of penetration, productivity or to reduce the probability of defects in the weld, active gases are added: carbon dioxide, oxygen, hydrogen or nitrogen. Thus, oxygen entering the weld in large quantities definitely worsens the strength of the weld, as oxides appear that fall out along the grain boundaries of the crystals, which ultimately increases the likelihood of hot and cold cracks. However, adding oxygen to the protective gas in a limited amount allows you to stabilize the vapor-gas channel, which reduces the number of internal defects in the form of pores. Carbon dioxide has a similar effect [23]. A small amount of nitrogen in the protective gas on some steels that contain alloying elements such as manganese, titanium, and molybdenum has a positive effect. The formation of nitrides increases the strength of the weld with a decrease in plasticity.

Another method of protecting the weld is the use of welding flux, which can be used from above to protect the weld from interaction with the environment, or from below as a flux cushion to maintain the liquid bath of the melt and to protect against oxidation [24].

1.2.2.2 Laser welding of the main gas pipeline

Laser welding of circular non-rotating pipe joints with fiber lasers was developed by NTO IRE - Polyus OOO and NCP UTS Integration OOO. To date, this development has no analogues in the world.

					Приложение А	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

It is based on the possibility of welding the root of the seam in the mode of deep penetration in one pass and filling the narrow-slot with filler wire. The joint to be welded is assembled without a gap, the amount of bluntness of the pipe edges can reach 8 mm, and the opening angle is no more than 2 degrees [26, 27].

Figure 1.3 shows a comparison of the proposed edges with the edge for the CRC-Evans welding complex [28].

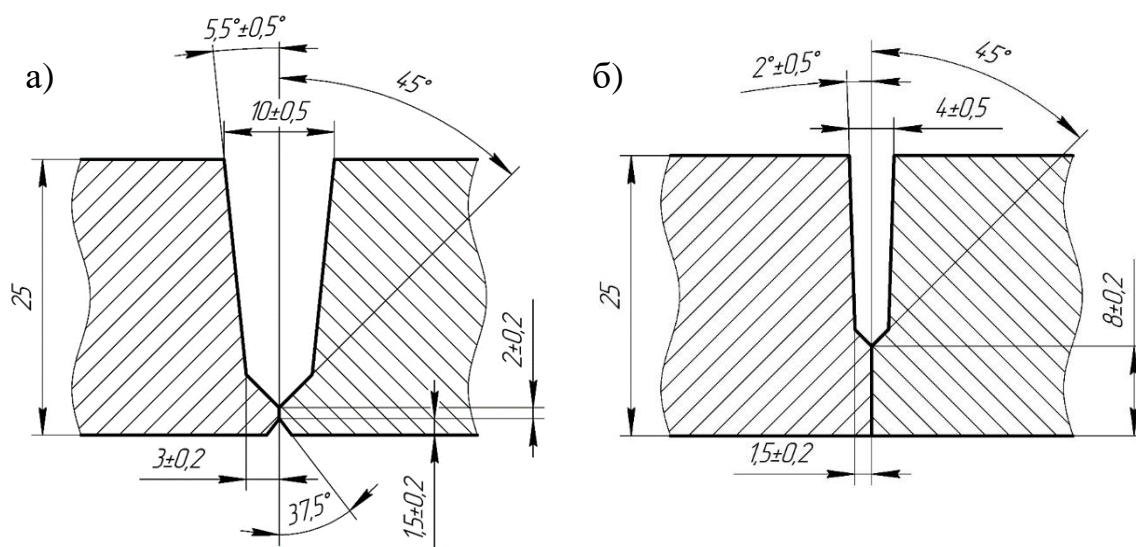


Fig. 1.3 Edges: a) for welding with the CRC-Evans complex; б) for laser welding

In the course of research, the following technology was developed [25]. After preparing the edges, the pipes are assembled on the internal centralizer, and then preheating the joint, root welding is performed in one pass with the addition of filler wire. This is followed by a correction pass that aligns the surface of the upper part of the root seam to prepare for filling. Filling passages are performed by scanning with a laser beam with the addition of a filler wire. The facing passage is made in the mode of laser beam defocusing with simultaneous increase in the radiation power.

1.2.2.3 Equipment for laser welding of the main gas pipeline

To implement the described technology, the installation for laser welding of ULST-1 pipes was developed (Figure 1.4). The installation allows welding pipes with diameters from 500 to 1420 mm.

a)



б)



Fig. 1.4 ULST-1: a) a general view; b) a welding head

On its basis, for work in heavy conditions, a self-propelled laser welding unit SALS was produced on the chassis of a crawler tractor with a YAMZ-ND3 engine (Figure 1.5).



Fig. 1.5-SALS

SALS consists of [25]:

- two welding carriages equipped with an optical laser head, a welding carriage position sensor, an edge tracking sensor, and a wire feed mechanism;
- set of guide belts for diameters from 500 to 1420 mm;

- remote control;
- two 10 kW ytterbium fiber lasers;
- fiber-optic cable for transmitting radiation;
- cooling unit;
- power supply and control unit, including programmer for programming and checking parameters on ULST;
- a diesel generator with capacity of 160 kW;
- industrial compressor;
- cylinders with a gas mixture;
- protective shelter.

The protective shelter is a collapsible structure that has two doors, a ladder to the roof, four fans, two floodlights, four pencil cases for welding wire, four sockets for 220 V AC, two holders for sanding machines.

					Приложение А	Лист
						94
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		